Die

Naturlehre

nach ihrem

gegenwärtigen Zuſtande

mit Rückſicht

auf mathematiſche Begründung.

Dargeſtellt

von

Dr. Andreas Baumgartner,

k. k. Regierungsrathe, Director der k. k. Aerarial-Porcellan-, Gußſpiegel- und Smalte-Fabriken, Ritter des königl. ſächſiſchen Civil-Verdienſt-Ordens, Mitglied mehrerer in- und ausländiſchen gelehrten Geſellſchaften.

Sechste Auflage

von Genanntem und von

Dr. Andreas v. Ettingshauſen,

Profeſſor der Phyſik, emeritirtem Profeſſor der höheren Mathematik an der k. k. Univerſität zu Wien, Mitglied mehrerer in- und ausländiſchen gelehrten Geſellſchaften,

gemeinſchaftlich umgearbeitet.

Mit acht Kupfertafeln.

Wien, 1839.

Gedruckt und im Verlage bei Carl Gerold.

15. D

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Eine ſechste Auflage eines wiſſenſchaftlichen Werkes gehört immerhin zu den ſeltenen Erſcheinungen, und der Verfaſſer eines ſolchen muß ſich beſonders für verpflichtet halten, die Achtung, welche jeder Schriftſteller vor ſeinem Publicum haben ſoll, durch die ſorgfältigſte Behandlung ſeiner Arbeit an Tag zu legen. Ich glaubte dieſer Verpflichtung nicht beſſer entſprechen zu können, als daß ich mich zu der vorliegenden Ausgabe mit dem Herrn Profeſſor von Ettingshauſen verband, und ſo meine Kenntniſſe mit dem ganzen literariſchen Schatze dieſes ausgezeichneten Lehrers und Gelehrten vermehrte.

Wir beide haben das ganze Werk in völliger Uebereinſtimmung bearbeitet, und jeder Satz kann als der Ausdruck der gemeinſchaftlichen Ueberzeugung beider betrachtet werden. Dadurch wird aber noch nicht behauptet, daß wir beide an der Bearbeitung jedes Theiles vollkommen gleichen Antheil gehabt haben, welches auch nicht ganz der Wahrheit gemäß wäre, indem der Einfluß meines gelehrten Verbündeten bei der Bearbeitung der Optik und des eigentlichen mathematiſchen Theiles, mein Einfluß hingegen bei den übrigen Theilen des Buches gewiſſermaßen überwiegend war.

Plan und Anordnung ſind im Ganzen, wenigſtens dem Principe nach, dieſelben geblieben, wie bei den früheren Ausgaben, und wenn die äußere Aufeinanderfolge einzelner Theile hie und da etwas geändert erſcheint, ſo rührt dieſes davon her, daß wir es ſo dem angenommenen Principe am angemeſſenſten fanden, und die neueren, ſeit der letzten Ausgabe gemachten Entdeckungen im Gebiete der Naturlehre eine ſolche Aenderung for-

derten. Von dieſen Entdeckungen iſt alles aufgenommen worden, was dem Zwecke des Buches angemeſſen ſchien, und es dürfte in dieſer Beziehung die gegenwärtige Ausgabe eben ſo, ja noch mehr als die früheren dazu geeignet ſeyn, den Freunden dieſer Wiſſenſchaft die phyſikaliſchen Lehren ſo darzubieten, wie es der gegenwärtige Standpunkt der Naturlehre erfordert, und darum ihr Einfluß über die Schule hinaus reichen, für die ſie wohl zunächſt, aber nicht ausſchließend beſtimmt iſt. Dem geübten Lehrer, der zugleich die Wiſſenſchaft und das Bedürfniß der Schule kennt, wird es ein Leichtes ſeyn, das ihm überflüſſig ſcheinende wegzulaſſen.

An der äußeren Ausſtattung dürfte der Leſer nichts gegen die früheren Ausgaben vermiſſen. Die etwas geringere Bogenzahl rührt nicht etwa von einer zu weit getriebenen Abkürzung oder Zuſammenziehung, ſondern bloß von dem mehr compreſſen Drucke her. Wäre r frühere Druck beibehalten worden, ſo hätte man bei der Menge der nöthig gewordenen Zuſätze die Bogenzahl bedeutend vermehren, und ſo dem Buche eine ungefällige, vielleicht ſogar ungelegene Dicke geben müſſen.

Wien im Mai 1839.

A. Baumgartner.

Inhalt.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Seite

Einleitung 3

Erſter Abſchnitt. Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Eigenſchaften der Körper . . 10
Zweites Kapitel. Verſchiedenheit der Körper im Allgemeinen 25
A. Aggregationszuſtand . . . . —
B. Chemiſche Beſchaffenheit der Körper 27

Zweiter Abſchnitt. Gleichgewicht der Kräfte.

Erſtes Kapitel. * Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte 57
Zweites Kapitel. * Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper 65
Drittes Kapitel. * Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen . . 69
Viertes Kapitel. Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander (Theorie der Cohärenz) 78
A. Kryſtalliſation der Körper . . . . —
B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper . . . 87
Fünftes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern 93
A. Ueber Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere —
B. * Geſetze des Gleichgewichtes, ſchwerer, unzuſammendrückbaren, nicht adhärirenden Flüſſigkeiten . . . 99
C. * Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes feſter und tropfbarer Körper 105
D. * Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, zuſammendrückbaren adhärirenden Flüſſigkeiten 110
Sechstes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern 117
A. Schwere und Ausdehnſamkeit der Gaſe 118
B. Specifiſches Gewicht der Gaſe 133
C. Gleichgewicht der Gaſe 137
D. Gleichgewicht der Dünſte 147

Dritter Abſchnitt. Bewegung der Körper.

Erſtes Kapitel. * Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere 158

Seite
A. Bewegung, welche durch momentan wirkende Kräfte hervorgebracht wird 160
B. Bewegung, welche durch continuirlich wirkende Kräfte hervorgebracht wird 161
C. Bewegung, welche entſteht, wenn eine momentan und eine continuirlich thätige Kraft zugleich auf ein Bewegliches wirken 171
D. Stoß der Körper 178
Zweites Kapitel. * Hinderniſſe der Bewegung und ihre Wirkungen 182
Drittes Kapitel. Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper 187
A. * Fortſchreitende Bewegung . . . . —
B. Wellenbewegung 193
Viertes Kapitel. * Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper . 201
Fünftes Kapitel. Geſetze der ſchallenden Bewegung . . . 204
A. Vom Schalle überhaupt . . . . —
B. Fortpflanzung des Schalles 206
C. Der Schall in Beziehung auf Höhe und Tiefe . . . 213
D. Der Schall in Beziehung auf ſeine Stärke . . . 217
E. Schwingungen ſelbſttönender Körper 222
F. Schwingungen mittönender Körper 240
G. Empfindung des Schalles 244

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt. Licht.

Erſtes Kapitel. Das Licht überhaupt 249
Zweites Kapitel. Reflexion des Lichtes 253
Drittes Kapitel. Gewöhnliche Brechung des Lichtes . . 260
Viertes Kapitel. Analyſe des Lichtes 264
Fünftes Kapitel. Brechung des Lichtes in ſphäriſchen Linſen 273
Sechstes Kapitel. Erleuchtung und Abſorption des Lichtes . 282
Siebentes Kapitel. Das Auge und das Sehen . . . 290
Achtes Kapitel. Optiſche Inſtrumente 303
Mikroſkope . . . . —
Fernröhre 312
Einige minder wichtige optiſche Inſtrumente . . 321
Neuntes Kapitel. Doppelte Brechung und Polariſation des Lichtes 323
Zehntes Kapitel. Beugung des Lichtes 357
Eilftes Kapitel. Interferenz des Lichtes und Farben dünner Körper 364
Zwölftes Kapitel. Theorie der Erſcheinungen des Lichtes . 373

Zweiter Abſchnitt. Wärme.

Erſtes Kapitel. Von der Wärme überhaupt 411
Zweites Kapitel. Geſetze der Bewegung der Wärme . . 412
Drittes Kapitel. Geſetze des Gleichgewichtes der Wärme . 424
A. Capacität und ſpecifiſche Wärme . . . . . —
B. Ausdehnung durch die Wärme 430

Seite
C. Aenderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme . 436
D. Anwendung des Dampfes 444
Viertes Kapitel. Quellen der Wärme und Kälte . . . 449
Fünftes Kapitel. Wärme in Verbindung mit Licht . . 455
Sechstes Kapitel. Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene 465

Dritter Abſchnitt. Magnetismus.

Erſtes Kapitel. Allgemeine magnetiſche Erſcheinungen . . 469
Zweites Kapitel. Verfahren künſtliche Magnete zu erzeugen 472
Drittes Kapitel. Geſetze der magnetiſchen Kräfte im Gleichgewichte 478
Viertes Kapitel. Erdmagnetismus 490

Vierter Abſchnitt. Electricität.

Erſtes Kapitel. Electriſche Erſcheinungen und Quellen der Electricität überhaupt 498
Zweites Kapitel. Reibungselectricität, Electriſirmaſchine und Electroſkope 502
Drittes Kapitel. Geſetze der Electricität im Gleichgewichte . 504
Viertes Kapitel. Inducirte electriſche Spannung und darauf beruhende Apparate 509
Fünftes Kapitel. Berührungselectricität und Volta'ſche Säule 518
Sechstes Kapitel. Electricität in Bewegung . . . 524
Siebentes Kapitel. Nähere Erörterung der Mittel Electricität zu erregen 571

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung 597

Erſter Abſchnitt. Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel. * Himmelskörper überhaupt 598
Zweites Kapitel. * Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre . 599
Drittes Kapitel. * Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung 603
Viertes Kapitel. * Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde 610
Fünftes Kapitel. * Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde 613
Sechstes Kapitel. * Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne 619
Siebentes Kapitel. * Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe 624
Achtes Kapitel. * Die Kometen und ihre Bewegung . . 628
Neuntes Kapitel. * Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten 630
Zehntes Kapitel. * Urſache der Planetenbewegungen . . 635
Eilftes Kapitel. * Fixſterne. Größe des Weltalls . . . 639

Seite

Zweiter Abſchnitt. Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel. Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen . 643
Zweites Kapitel. Gewäſſer der Erde 645
Drittes Kapitel. Feſtes Land 663
Viertes Kapitel. Veränderungen der Erde 680

Dritter Abſchnitt. Meteorologie.

Erſtes Kapitel. Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt 691
Zweites Kapitel. Veränderungen der Beſtandtheile der Atmoſphäre 692
Drittes Kapitel. Vertheilung der Wärme auf der Erde . 695
Viertes Kapitel. Luftſtrömungen 713
Fünftes Kapitel. Oſcillationen der Atmoſphäre . . . 719
Sechstes Kapitel. Waſſermeteore 726
Siebentes Kapitel. Electrometeore 736
Achtes Kapitel. Lichtmeteore 743
Neuntes Kapitel. Feuermeteore 753
Zehntes Kapitel. Einiges über Wetteranzeigen . . . 756

Anmerkung. Die mit Sternchen (*) bezeichneten Kapitel fallen bei kleinen Lehranſtalten, laut §. 82 des Studienplanes, in das Gebiet des Profeſſors der Mathematik.

Naturlehre.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Einleitung.

1. Es iſt eine unläugbare Thatſache des Bewußtſeyns, daß wir Vorſtellungen haben, zu welchen wir auf dem Wege ſinnlicher Wahrnehmung gelangen. Alles, was ſinnlich wahrgenommen wird, nennen wir im Allgemeinen Erſcheinung oder Phänomen. Sinnliche Wahrnehmungen, beſonders jene, welche der Taſtſinn vermittelt, nöthigen uns, etwas im Raume Exiſtirendes und denſelben Erfüllendes anzunehmen, was den Erſcheinungen zum Grunde liegt. Wir bezeichnen es mit dem Worte Materie. Mit der Erfüllung des Raumes iſt offenbar Ausdehnung nothwendig verbunden. Materie von begrenzter Ausdehnung nennen wir Körper, und den Inbegriff der Körper Natur in materieller Bedeutung, wohl auch Sinnenwelt, Körperwelt.

In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Prinzip alles deſſen, was zum Daſeyn eines Dinges gehört. In dieſem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Waſſers, des Goldes u. ſ. w. ſpricht.

2. Die Betrachtung der Natur eröffnet uns eine Quelle von Erkenntniſſen, deren Inbegriff Naturkunde, dies Wort im weiteſten Sinne genommen, genannt werden kann. Aber nur diejenigen Erkenntniſſe ſind gleichartig, welche der aus einerlei Standpunkt unternommenen Naturbetrachtung entſprechen, und nur dieſe können, in ſyſtematiſche Verbindung gebracht, eine Wiſſenſchaft darſtellen. Es finden demnach eben ſo viele verſchiedene Naturwiſſenſchaften Statt, als es Geſichtspunkte gibt, von denen man bei der Naturforſchung ausgeht. Bei dem allgemeinſten Ueberblicke ergeben ſich uns zunächſt zwei verſchiedene Betrachtungsweiſen der Natur. Wir finden nämlich in ihr keinen weiteren Gegenſtand der Forſchung, als die Körper, deren Inbegriff ſie iſt, und die durch die Körper dargebotenen Erſcheinungen. Letztere ſind theils Eigenſchaften der Körper, theils Veränderungen, die durch wechſelweiſes Aufeinanderwirken derſelben in der Sinnenwelt vor ſich gehen. Es kann nun die Abſicht der Forſchung entweder auf die Körper ſelbſt gerichtet ſeyn, und die Geſammtheit der Erſcheinungen, welche ſie uns darbieten, nur in ſo weit in Erwägung kommen, als ſich die Körper durch dieſelben von einander unterſcheiden, mithin dadurch beſtimmt werden; oder es ſind gerade die Erſcheinungen in der Körperwelt das eigentliche Object der Unterſuchung, und die Körper kommen nur in ſo weit in Betrachtung, als

ſie die Träger dieſer Erſcheinungen ſind. Im erſten Falle handelt es ſich um die Formen der Körper, und um den Zuſammenhang dieſer Formen nach dem Prinzipe der Aehnlichkeit, im zweiten hingegen um die Geſetze und gegenſeitige Abhängigkeit der Erſcheinungen in der Sinnenwelt nach dem Prinzipe der Cauſalität. Hiedurch erhalten zwei Naturwiſſenſchaften ihr Daſeyn, nämlich die Naturgeſchichte, welche die Kenntniß der Naturdinge in ihrem urſprünglichen Zuſtande nach ihrer Aehnlichkeit, und die Naturlehre, in weiterer Bedeutung des Wortes, welche die Kenntniß der Naturerſcheinungen in ihrem Cauſalnexus zum Gegenſtande hat.

3. Es gibt ſo viele Körper und ſo mannigfaltige Erſcheinungen an denſelben, daß ein menſchlicher Geiſt ſie insgeſammt zu umfaſſen nicht vermag. Man iſt deßhalb genöthiget, bei der Bearbeitung der Naturlehre die Erſcheinungen, durch welche das Leben der organiſirten Weſen, des Menſchen, der Thiere und der Pflanzen ſich äußert, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen, von denjenigen abzuſondern, welche die lebloſen Körper darbieten. Die Betrachtung der erſteren iſt der Gegenſtand einer beſonderen Wiſſenſchaft, welche Phyſiologie heißt, während das Studium der unorganiſchen Natur der Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder der ſogenannten Phyſik anheim fällt. Die Phyſik bahnt der Phyſiologie den Weg, daher geht bei dem wiſſenſchaftlichen Unterrichte jene dieſer voran.

4. Die phyſikaliſche Unterſuchung der Erſcheinungen iſt mit der Kenntniß ihrer Geſetze und ihrer Urſachen vollſtändig abgeſchloſſen, denn es kommen bei dieſem Geſchäfte keine anderen Fragen in Betrachtung, als wie jede einzelne Erſcheinung erfolgt, und warum ſie erfolgt. Zur Beantwortung dieſer Fragen gelangen wir hauptſächlich durch aufmerkſame Betrachtung der Naturerſcheinungen, d. i. durch Beobachten derſelben. Wiewohl ununterbrochen Erſcheinungen vor ſich gehen, bei denen ſich die Natur in ihrer freien, von unſerem Zuthun ganz unabhängigen Wirkſamkeit äußert; ſo ſind wir doch gezwungen, theils um noch unbekannte Erſcheinungen gewahr zu werden, theils um die bereits bekannten unter möglichſt abgeänderten Umſtänden betrachten zu können, ihr Auftreten ſelbſt zu veranlaſſen. Man nennt die abſichtliche Herbeiführung einer Erſcheinung einen Verſuch oder ein Experiment. Die Anſtellung zweckmäßig angeordneter Verſuche iſt das ſicherſte Mittel, die Wirkſamkeit der Natur von allen Seiten kennen zu lernen, und dem Zuſammenhange der Erſcheinungen auf die Spur zu kommen. Auch bei dem Unterrichte in der Naturlehre ſind ſie als Beweismittel für die Richtigkeit der aufgeſtellten Behauptungen unentbehrlich.

5. Sowohl zur Anſtellung mancher Beobachtungen als auch zu Verſuchen braucht man Inſtrumente, deren Zweck, Beſtandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Phyſiker genau kennen muß, beſonders, wenn er ſie nicht bloß dazu braucht, das Stattfinden gewiſſer Erſcheinungen nachzuweiſen, ſondern ſie der Größe nach zu beſtimmen, und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumſtandes an-

zugeben. Es iſt klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geſchicklichkeit, viel Uebung und ein beſonderer Scharfblick gehört. Indeß erhält der geſchickteſte Phyſiker mit den beſten Inſtrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Reſultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichſt nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen, und aus allen Reſultaten dasjenige zu ſuchen, welches mit dem geringſten Fehler behaftet iſt. Dahin gelangt man mittelſt einer beſondern Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrſcheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe: Die Wahrſcheinlichkeitsrechnung in ihrer Anwendung auf das wiſſenſchaftliche und praktiſche Leben, von J. J. Littrow. Wien 1833. *A Preliminary discourse on the study of natural philosophy by J. F. W. Herschel. London* 1830. *Senebier l'art d'observer. Genève* 1775. Deutſch: Leipzig 1776. *Nollet l'art des expériences. Paris* 1770. Deutſch: Leipzig 1771.)

6. So intereſſant auch ſchon die bloße Kenntniß des Stattfindens einer Erſcheinung iſt, ſo wird dieſes Intereſſe doch unendlich erhöht, wenn man die Urſachen eines Phänomens aufdeckt oder es erklärt. Man iſt aber nicht im Stande, die Urſachen aller Erſcheinungen aufzufinden, ſondern man muß ſich oft damit begnügen, einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund vorauszuſetzen und zu verſuchen, ob ſich daraus die Erſcheinungen erklären laſſen. Solche Vorausſetzungen heißt man Hypotheſen.

So z. B. nehmen viele zur Erklärung der Erſcheinungen des Sehens einen eigenen Lichtſtoff an, der von leuchtenden Körpern ausgeht und in unſer Auge eindringt, ſo daß nach dieſer Anſicht der Geſichtsſinn auf ähnliche Weiſe afficirt wird, wie der Geruchsſinn, von dem erwieſen iſt, daß er durch feine Ausflüſſe aus riechenden Körpern angeregt wird. Aehnliche Vorausſetzungen macht man über die Wärme, die Elektricität, den Magnetismus.

7. Wenn eine Hypotheſe die Erſcheinungen leicht, einfach, ohne Umſchweife und Hilfshypotheſen erklärt und keiner anerkannten Wahrheit widerſpricht; ſo kann ſie ſo lange dem wahren Grunde ſubſtituirt werden, als dieſer noch verborgen iſt. Als wahre Urſache kann eine ſolche Vorausſetzung erſt dann gelten, wenn ſie entweder als Erſcheinung vorkommt, oder die Erſcheinungen nicht bloß im Allgemeinen und der Qualität, ſondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Reſultate gibt, die mit der Erfahrung übereinſtimmen, oder endlich, wenn bewieſen iſt, daß die Erſcheinungen in ihrem Zuſammenhange nicht anders erklärt werden können.

Die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausſtrahlenden Lichtſtoffes iſt keine glückliche Hypotheſe, denn ſie erklärt die Erſcheinungen nur mittelſt vieler Hilfshypotheſen; eben ſo verhält es ſich mit der Annahme negativ ſchwerer Körper, denn ſie widerſpricht der Erfahrung, welche lehrt, daß alles, deſſen Materialität erwieſen iſt, poſitiv ſchwer ſey. Die Luftelektricität war ſo lange ein bloß hypothetiſches Weſen, bis Franklin ihr Daſeyn faktiſch nachwies; die elliptiſche Bewegung der Planeten um die Sonne iſt keine Hypotheſe mehr, weil ſich

aus ihr und nur aus ihr allein alle dahin gehörenden Erſcheinungen, der Größe nach, genau ſo ergeben, wie ſie die Erfahrung nachweiſet.

8. Wenn man eine Hypotheſe ſorgfältig braucht und nie vergißt, daß man es nicht mit einem wahren Grunde zu thun hat; ſo iſt ſie für die Wiſſenſchaft von großem Nutzen, denn man kann mit ihrer Hilfe Erſcheinungen in einen Zuſammenhang bringen, die ſonſt als ein Chaos unüberſehbar wären, ja ſogar die Erklärung derſelben vorbereiten. Die Geſchichte der Phyſik liefert mehrere Beiſpiele, welche dieſes beſtätigen.

Die hypothetiſche Vorausſetzung eines elektriſchen Fluidums gibt einen ſicheren Wegweiſer durch das ganze weitläufige Gebiet der elektriſchen Erſcheinungen ab; aus ihr hat man ſogar die Einrichtung der Blitzableiter erkannt, welche ſich bis jetzt noch immer als zweckmäßig bewährt hat.

9. Häufig iſt die Urſache einer Erſcheinung ſelbſt wieder ein Phänomen, bedarf daher eines neuen Grundes. Dieſer ſetzt, wenn er in der Erfahrung vorkommt, wieder einen neuen Grund voraus, ſo daß man endlich durch eine Reihe von Erſcheinungen, deren jede zugleich Urſache und Wirkung iſt, auf einen letzten überſinnlichen Grund kommt, der im Innern der Natur ſeine Wurzel hat. Man nennt ihn K r a f t, ohne durch dieſen Ausdruck mehr als eine uns, dem Weſen nach, ganz unbekannte Urſache einer Erſcheinung bezeichnen zu wollen.

Ein mit erwärmter Luft gefüllter Luftballon ſteigt in die Höhe, weil ihn die atmoſphäriſche Luft ſtärker in die Höhe drückt, als er durch ſein Gewicht zu fallen ſucht; jener Druck iſt aber ſtärker als dieſes Gewicht, weil warme Luft ſpezifiſch leichter iſt, als kältere; jene iſt leichter als dieſe, weil ſie dünner iſt; ſie iſt dünner, weil die Wärme eine ausdehnende Kraft beſitzt, die wir nicht weiter zu erklären vermögen.

10. Die Erſcheinungen, welchen wir unmittelbar Kräfte zu Grunde legen müſſen, ſind ſo mannigfaltig, daß wir, wenigſtens vor der Hand, nicht alle derſelben aus einer einzigen Quelle abzuleiten vermögen. Wir nehmen deßhalb für jede zuſammengehörige Reihe von Erſcheinungen, die wir nicht weiter erklären können, eine beſondere Kraft an, und benennen ſie nach der letzten dadurch zu erklärenden Erſcheinung. So ſpricht man von einer Schwerkraft, von einer Adhäſionskraft u. dgl., um dadurch den letzten Grund der Schwere, der Adhäſion u. dgl. zu bezeichnen. Vergleicht man alle Erſcheinungen mit einander, und bedenkt, daß bei jeder derſelben eine Bewegung vor ſich geht, bei welcher entweder gegenſeitige Annäherung oder Entfernung materieller Theilchen Statt hat; ſo findet man hierin eine völlige Rechtfertigung für die Annahme, daß die A n z i e h u n g s- und A b ſ t o ß u n g s k r a f t die G r u n d k r ä f t e der Natur ſind, alle anderen aber als davon a b g e l e i t e t e Kräfte betrachtet werden müſſen. Dieſe Kräfte ſind der letzte Grund der Bewegungen der Körper, welche Bewegungen theils für ſich, theils in ihren Beziehungen

auf unſere Sinne, das Object der wichtigſten Forſchungen der Naturlehre ausmachen.

11. Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß es Naturkräfte geben muß, weil die Erſcheinungen der Körperwelt doch irgend einen letzten, im Weſen der Natur liegenden Grund haben; ſo ſind doch die meiſten, vielleicht alle bis jetzt angenommenen Naturkräfte, insbeſondere betrachtet, nichts als Hypotheſen. Denn es iſt nicht erwieſen, daß Erſcheinungen, welche jetzt für die letzten gehalten werden, nicht doch eine empiriſche Quelle haben.

12. Das Daſeyn derjenigen Erſcheinungen, denen wir keinen weitern ſinnlichen Grund als Urſache unterzulegen im Stande ſind, ſammt der Art und Weiſe, nach der ſie erfolgen, ſehen wir als eine im Weſen der Natur liegende Einrichtung an, und ſagen, das Stattfinden einer ſolchen unerklärbaren Erſcheinung ſey ein Naturgeſetz. Die Erforſchung der Naturgeſetze iſt der höchſte Zweck der Naturlehre, und man kann mit Zuverſicht behaupten, daß man im Gebiete dieſer Wiſſenſchaft deſto weiter gekommen iſt, auf je weniger Naturgeſetze alle wahrnehmbaren Erſcheinungen zurückgeführt werden können.

13. Von den hier bezeichneten Naturgeſetzen laſſen ſich beſonders mit Hilfe der Mathematik andere Geſetze ableiten, die nicht ſelten von der größten Erheblichkeit ſind. Man bringt zu dieſem Zwecke die aus der Erfahrung bekannten Thatſachen in einen mathematiſchen Ausdruck, deſſen Form durch das ſchon bekannte Naturgeſetz gegeben iſt, wendet hierauf die Kunſtgriffe an, mit denen uns der Scharfſinn der großen mathematiſchen Geiſter ſo reichlich verſehen hat, und findet ſo als Reſultat der Rechnung ein neues Geſetz.

Hier zeigt ſich die Wichtigkeit der Mathematik für den Phyſiker von der ſchönſten Seite, und beweiſet unwiderſprechlich, daß in den Naturwiſſenſchaften nicht mehr Wiſſenſchaft als Mathematik enthalten ſey. Die Erfahrung lehrt, daß ein langer Metalldraht, durch welchen Elektricität ſtrömt, auf eine Magnetnadel mit einer Kraft wirkt, welche in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel wächſt. Wendet man auf dieſes Geſetz die mathematiſche Analyſis an, ſo kann man daraus ableiten, daß die Kraft, mit welcher ein Element dieſes Drahtes auf die Magnetnadel wirkt, abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt. Durch Erfahrung hätte man dieſes Geſetz nie unmittelbar finden können, weil man mit einzelnen Elementen keinen Verſuch machen kann.

14. Die Phyſik hat, obgleich ſie, einige wenige Beſtrebungen der älteren Zeit abgerechnet, ausſchließend das Werk der letzten Jahrhunderte iſt, durch das Zuſammenwirken geiſtreicher Männer eine bewunderungswürdige Ausdehnung erlangt, und ein Menſchenleben iſt jetzt nicht mehr hinreichend, die täglich ſich mehrenden Schätze des phyſikaliſchen Wiſſens vollſtändig zu überſehen. Deßhalb iſt man genöthigt, zum Behufe des Unterrichtes, die durch Faßlichkeit ſich auszeichnenden Hauptlehren unter der Benennung Elementarphyſik zuſammen zu faſſen, und hiedurch zum Studium der höheren Phyſik vorzubereiten. Die Elementarphyſik heißt insbeſondere Experimental-

phyſik, wenn ſie die Richtigkeit ihrer Behauptungen mehr durch Hinweiſung auf Thatſachen, welche ſich an Experimenten vor Augen ſtellen, zu rechtfertigen ſucht, als durch Ableitungen der Geſetze der Erſcheinungen aus den erſten Gründen mittelſt mathematiſcher Deductionen, im Gegenſatze mit der theoretiſchen Phyſik, welche der mathematiſchen Methode ſich bedient. Auch werden, der Reichhaltigkeit des Materials wegen, einzelne Zweige der Naturlehre als für ſich beſtehende Wiſſenſchaften bearbeitet. Hierauf gründet ſich die Zerfällung der Naturlehre in die mechaniſche, welche es mit den räumlichen Veränderungen der Körper, die in ihrer Allgemeinheit aufgefaßt nichts als Bewegungen ſind, zu thun hat, und in die chemiſche Naturlehre oder Chemie, welche von den Veränderungen der inneren materiellen Beſchaffenheit handelt. Aber auch einzelne Partien der mechaniſchen Naturlehre laſſen ſich als beſondere Wiſſenſchaften darſtellen, dergleichen die Mechanik, Optik, Aſtronomie u. ſ. w. ſind. Daß eine abſolute Trennung dieſer Wiſſenſchaften im Vortrage nicht möglich ſey, iſt klar. Im vorliegenden Werke, welches den Anfangsgründen der theoretiſchen Phyſik gewidmet iſt, wird das Weſentlichſte aller hier genannten Wiſſenſchaften vorgetragen, und es hat daher zur Aufgabe, die allgemeinen Veränderungen der Körperwelt zu erklären und ihre Geſetze nachzuweiſen.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß wir nur durch Erfahrung zur Kenntniß der Körperwelt gelangen, ſo ſtammt doch nicht unſere geſammte Kenntniß derſelben aus der Erfahrung. Es trägt nämlich dieſe Kenntniß immer das Gepräge des anſchauenden und denkenden Subjectes an ſich, da wir Dinge außer uns nur der, allen Menſchen gemeinſchaftlichen Form der Sinnlichkeit gemäß anſchauen, und über ſo gewonnene Anſchauungen nur nach Regeln denken können, die in der Natur unſeres Verſtandes gegründet ſind. Kennen wir die Geſetze unſeres Denk- und Anſchauungsvermögens, ſo ſind wir im Stande, den a priori, d. i. unabhängig von der Erfahrung beſtehenden Theil unſerer naturwiſſenſchaftlichen Erkenntniß von dem empiriſchen, d. i. lediglich durch Erfahrung gegebenen zu ſondern. Der erſtere macht die reine Naturlehre aus, im Gegenſatze mit der Erfahrungsnaturlehre, deren Quelle ſinnliche Wahrnehmungen ſind. Wenn ſich auch das vorliegende Werk vorzugsweiſe mit letzterer beſchäftiget, ſo kann doch erſtere nicht ausgeſchloſſen werden, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungsſätze Prinzipien a priori nöthig ſind, und weil bloße Erfahrung keine ſtrenge Allgemeinheit, mithin keine wiſſenſchaftliche Feſtigkeit gewährt.

15. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menſchen als Mitglied eines Staates oder als moraliſchem Weſen verſchafft, iſt ſo groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erſchöpfend aus einander geſetzt werden kann. Alle techniſchen Gewerbe ſind ihrer Vollkommenheit deſto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgeſetzen beruht, mit deren Entwicklung ſich die Phyſik beſchäftiget; der Ackerbau bedarf derſelben Geſetze, um ſeine Producte nachhaltig zu gewinnen und ſeine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Waſſer und zu Lande nimmt die Naturlehre

in Anſpruch, und dieſelbe Wiſſenſchaft iſt es, welche die Waffe ſchmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner iſt der moraliſche Nutzen der Naturlehre: Sie iſt die Lehrerin der Klugheit, indem ſie die Erfolge mancher Ereigniſſe vorausſehen lehrt; ſie predigt Demuth und Beſcheidenheit, indem ſie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit ſie ganz zu begreifen darſtellt; ſie zeigt aber auch die Größe des menſchlichen Geiſtes von der ſchönſten Seite und flößt Vertrauen zu unſeren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Phyſik das ſagen, was ein großer Genius der Deutſchen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, ſagt: Daß ſie dem Menſchen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, ſondern unendlich iſt.

Erſter Abſchnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Eigenſchaften der Körper.

16. Wenn wir unſere Aufmerkſamkeit auf die Eigenſchaften der Naturdinge richten, ſo finden wir, daß einige derſelben allen Körpern zukommen. Wir nennen ſie allgemeine Eigenſchaften derſelben. Sie ſind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit und Trägheit, Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit, Poroſität, Theilbarkeit und Schwere.

17. Alles Körperliche exiſtirt für uns im Raume, iſt alſo ausgedehnt, und hat, weil es in ſeiner Ausdehnung begrenzt iſt, eine gewiſſe Form der Begrenzung, d. i. eine beſtimmte Geſtalt oder Figur. Denkt man ſich aus dem Raume, den ein Körper einnimmt, die Materie hinweg, ſo bleibt die Vorſtellung des ſogenannten leeren Raumes oder des geometriſchen Körpers übrig. Was die Geometrie von dieſem lehrt, bezieht ſich demnach auch auf den Raum eines phyſiſchen Körpers, und zwar auf ſeine Größe und die mit dieſem Raume zugleich gegebenen Flächen, Linien und auf ſeine Figur. Der Raum, den ein Körper einnimmt, lediglich in Hinſicht auf ſeine Größe betrachtet, heißt deſſen Rauminhalt oder Volum. Man muß, um es nach den Vorſchriften der Geometrie meſſen und durch eine Zahl ausdrücken zu können, ein beſtimmtes Volum als Einheit annehmen. Die Erfahrung lehrt, daß die Figuren der Körper höchſt mannigfaltig und ſehr oft regelmäßig oder wenigſtens ſymmetriſch ſeyen, wie man an allen kryſtalliſirten Körpern des Mineralreiches und an unzähligen Producten der organiſchen Reiche, am Gewebe feiner Häute, an Schmetterlingsflügeln, Haaren vom Maulwurfe, Reh ꝛc. bemerkt, in welcher Beziehung mikroſkopiſche Beobachtungen beſonders lehrreich ſind, und häufig da die größte Ordnung erkennen laſſen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur davon wahrnimmt. Manche Körper zeigen eine ſelbſtſtändige Geſtalt, andere hingegen richten ſich immer nach dem Gefäße, deſſen ſie zu ihrer Aufnahme bedürfen.

Die ſchicklichſte Einheit zur Ausmeſſung der Rauminhalte der Körper gründet ſich auf die Einheit, mittelſt welcher die Längen gemeſſen werden, welche eine gerade Linie von feſtgeſetzter Länge iſt. Das Quadrat, deſſen Seite dieſer Längeneinheit gleich iſt, dient als Einheit der Flächen, und der Würfel, welcher die Längeneinheit zur Seite

hat, als Einheit der Volume. Als Längeneinheit wird, um ſowohl allzu große Zahlen, wie auch allzu kleine Brüche zu vermeiden, nicht ſtets dieſelbe Länge angenommen, nur müſſen die verſchiedenen Längen, deren man ſich zu dieſem Behufe bedient, in beſtimmten Verhältniſſen ſtehen, damit man die Reſultate der Meſſung oder Rechnung nach einer dieſer Einheiten, wenn es nöthig iſt, in jene umſetzen kann, welche auf der Annahme einer andern Einheit beruhen. Ueberdieß iſt die lineare Einheit in verſchiedenen Ländern hinſichtlich der Größe, Eintheilung und Benennung der Theile und Vielfachen verſchieden. Wir werden uns im Folgenden größtentheils des ſogenannten Wiener Maßes bedienen. Die Grundlage des Wiener Längenmaßes iſt die Klafter, ſie wird bekanntlich in 6 gleiche Theile, Schuh oder Fuß genannt, eingetheilt. Der Fuß enthält 12 Zoll, der Zoll 12 Linien, die Linie 12 Punkte; häufig aber gibt man nur Decimaltheile der Klafter, des Schuhes, Zolles, der Linie an. Eine Wiener Elle iſt = 2,465 Fuß = 29,58 Zoll = 29 Zoll 6,96 Linie. 4000 Wiener Klafter machen eine öſterreichiſche Poſtmeile aus.

Die Grundlage des Flächenmaßes iſt die Quadratklafter, d. h. die Fläche eines Quadrates deſſen Seite eine Klafter beträgt. Die Quadratklafter faßt daher 6 × 6 = 36 Quadratfuß, der Quadratfuß 12 × 12 = 144 Quadratzoll, der Quadratzoll 144 Quadratlinien. Es kommen daher auf den Quadratfuß 144 × 144 = 20736 Quadratlinien, und auf die Quadratklafter 36 × 144 = 5184 Quadratzoll oder 5184 × 144 = 746496 Quadratlinien. Ein Joch Feldmaß hat 1600 Quadratklafter, oder iſt einem Quadrate von 40 Klafter Seite gleich.

Der Würfel, deſſen Seite eine Klafter iſt, heißt Kubikklafter, und enthält $6^3 = 216$ Kubikfuß, der Kubikfuß enthält $(12)^3 = 1728$ Kubikzoll, der Kubikzoll 1728 Kubiklinien. Es kommen alſo auf den Kubikfuß $(1728)^2 = 2985984$ Kubiklinien, und auf die Kubikklafter 216 × 1728 = 373248 Kubikzolle. Ein Wiener Eimer faßt 1,792 Kubikfuß, und enthält 40 Maß, jede zu 4 Seitel. Eine Maß enthält demnach 0,0448 Kubikfuß oder 77,4144 Kubikzoll; ein Kubikfuß 22,32 Maß. Ein Wiener Metzen beträgt 1,9471 Kubikfuß.

Nächſt der Kenntniß des Wiener Maßes iſt noch jene des in neueren Unterſuchungen häufig vorkommenden *neufranzöſiſchen* oder *metriſchen* Maßes unentbehrlich. Als Grundlage deſſelben dient der Meter (Mètre), deſſen Länge dem zehnmillionſten Theile des nördlichen Meridianquadranten der Erde gleichkommt. Der zehnte Theil des Meter heißt Decimeter, der hundertſte Centimeter, der tauſendſte Millimeter. Zehn Meter geben einen Dekameter, zehn Dekameter oder hundert Meter einen Hektometer, zehn Hektometer oder tauſend Meter den Kilometer, zehntauſend Meter den Myriameter. Bei allen übrigen Einheiten dieſes Maßes, welche als ſelbſtſtändige angeſehen und mit eigenen Namen belegt werden, findet dieſelbe Bezeichnung des zehnten, hundertſten, tauſendſten Theiles durch Vorſetzung der Sylben Deci, Centi, Milli, und der Zehnfachen, Hundertfachen, Tauſendfachen durch Vorſetzung der Sylben Deka, Hekto, Kilo Statt. Der Umſtand, daß ſämmtliche Eintheilungen und Vervielfältigungen dekadiſch fortſchreiten, erleichtert die Reduction höherer Einheiten auf niedrigere, und umgekehrt dieſer auf jene, ungemein. Das Quadrat, deſſen Seite 10 Meter faßt, wird unter der Benennung Are als Feldmaß gebraucht. Ein Hektare macht daher 10000 Quadratmeter aus. Der Kubikmeter heißt Stere, der Kubikdecimeter heißt Liter. Ein Kiloliter iſt folglich einem Kubikmeter gleich.

Zur Vergleichung des Wiener Maßes mit dem metriſchen und umgekehrt dienen folgende Angaben. Es iſt 1 Wiener Fuß = 0,3161023

Meter, folglich 1 Wiener Zoll = 0,0263418 Meter, 1 Wiener Linie = 2,195 Millimeter, und umgekehrt 1 Meter = 3,163532 Wien. Fuß = 3 Fuß 1 Zoll 11,549 Linien; 1 Decimeter = 3,79624 Wien. Zoll = 3 Zoll 9,5549 Linien; 1 Centimeter = 4,5555 Wien. Linien; 1 Millimeter = 0,4555 Wien. Linien. Ein Liter beträgt 54,7093 Wien. Kub. Zoll oder 2,827 Wien. Seitel.

Außer den oben genannten Maßen kommt noch das altfranzöſiſche oder Pariſer Maß vor. Die Eintheilung der Pariſer Toiſe iſt jener der Wiener Klafter ähnlich. Man verwandelt Pariſer Toiſen, Fuß, Zoll, Linien in Wiener Klafter, Fuß, Zoll, Linien, wenn man die Anzahl erſterer mit 1,02764 multiplicirt. Umgekehrt wird Wiener Maß durch Multiplication mit 0,973103 in gleichnamiges Pariſer Maß umgeſetzt. Eine Toiſe iſt = 1,94904 Meter und ein Meter = 0,513074 Toiſen. Ein engliſcher Fuß enthält 0,3048 Meter, ein preußiſcher Fuß 0,3138 Meter, ein bayeriſcher Fuß 0,2919 Meter.

Zur Beſtimmung linearer Ausdehnungen bedient man ſich guter Maßſtäbe, die, um die Schärfe der Meſſung möglichſt weit zu treiben, mit einem Nonius oder Vernier verſehen ſind.

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte Linie, die ſich an einem Maßſtabe verſchieben läßt, und dazu dient, kleinere Theile zu meſſen, als unmittelbar am Maßſtabe ſelbſt mit Deutlichkeit erſichtlich gemacht werden könnten. Iſt a der Abſtand zweier unmittelbar auf einander folgenden Theilſtriche des Maßſtabes, und dieſer Abſtand in n gleiche Theile zu theilen, ſo erhält der Nonius die Länge $(n + 1) a$ oder auch $(n - 1) a$, und wird in n gleiche Theile getheilt. Die Länge eines Noniustheiles iſt im erſten Falle $= \frac{(n + 1) a}{n} = a + \frac{a}{n}$ und im zweiten $= \frac{(n - 1) a}{n} = a - \frac{a}{n}$, mithin im erſten Falle um $\frac{a}{n}$, d. h. gerade um den Längentheil, welchen man bei der Meſſung mit dem Maßſtabe noch berückſichtigen will, größer, und im zweiten um eben ſo viel kleiner, als a, wornach der Abſtand zweier beliebigen Theilſtriche auf den Nonius ſehr leicht in Theilen des Maßſtabes angegeben werden kann. Wird nun der Maßſtab ſammt Nonius an eine zu meſſende Linie dergeſtalt angelegt, daß der Anfangspunkt des Maßſtabes mit dem einen Grenzpunkte, und einer der beiden äußerſten Theilſtriche des Nonius mit dem anderen Grenzpunkte dieſer Linie zuſammenfällt, ſo hat man nur darauf zu ſehen, welcher Theilſtrich des Nonius mit einem Theilſtriche des Maßſtabes ſo nahe zuſammenfällt, daß man den einen als die Verlängerung des anderen betrachten kann. Da man die Entfernung dieſes gemeinſchaftlichen Theilſtriches vom Anfangspunkte des Maßſtabes und von jedem der äußerſten Theilſtriche des Nonius kennt, ſo kann hieraus die Länge der zu meſſenden Linie leicht abgeleitet werden, und der Fehler der Meſſung wird nicht größer ſeyn als $\frac{a}{2n}$. Man kann ſich dabei ſtets ſo benehmen, daß dieſes Geſchäft auf einer einfachen Addition beruht, wie aus folgendem Beiſpiele zu erſehen iſt: Es ſeyen bei der Meſſung mit einem Maßſtabe, worauf Linien verzeichnet ſind, mittelſt des Nonius nach Zehntel einer Linie anzugeben, ſo kann die Länge des Nonius entweder 11 oder 9 Linien betragen, und dieſe Länge erſcheint auf dem Nonius in 10 gleiche Theile getheilt. Der Unterſchied zwiſchen einem Intervall des Maßſtabes und des Nonius iſt ſodann $^1/_{10}$ Linie. Wäre nun, vorausgeſetzt, daß die Länge des Nonius = 11 Linien angenommen worden, mittelſt eines ſo eingerichteten Maßſtabes die Linie AB (Fig. 1) zu meſſen.

und fände man, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspunkte des Maßſtabes ab zuſammenfallen läßt, das andere Ende B zwiſchen zwei Theilſtriche des Maßſtabes fällt, ſo darf man nur den Nonius cd dahin verſchieben, daß ein Ende desſelben mit B zuſammenfällt. Trifft nun der erſte, zweite, dritte ꝛc. Theilſtrich des Nonius in die Verlängerung eines Theilſtriches des Maßſtabes, ſo iſt das durch den Nonius zu meſſende Stück = $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ ꝛc. einer Linie. Es iſt klar, daß man auf ähnliche Weiſe auch Stücke von Kreisbögen mittelſt Nonien meſſen kann.

18. Alle für uns erkennbaren Körper füllen einen Raum ſo aus, daß in demſelben zu gleicher Zeit kein anderer ſeyn kann, d. i. ſie ſind **undurchdringlich**. Daher ſteigt das Waſſer in einem Gefäße, wenn man einen Stein hineinwirft; eine Flüſſigkeit läßt ſich nur in ein anderes Gefäß überfüllen, wenn die Luft daraus entweichen kann; in einem verſchloſſenen, luftdichten Cylinder läßt ſich der Kolben nie bis zum Boden hinabdrücken.

Auf dieſer Eigenſchaft beruht der Unterſchied zwiſchen mathematiſchen und phyſiſchen Körpern, die Sperrbarkeit der Materie u. ſ. w., unter andern auch eine zu vielen Zwecken recht brauchbare Vorrichtung, die **Taucherglocke**. Dieſe beſteht aus einem großen, luftdichten, auf einer Seite offenen, einer umgeſtürzten Tonne ähnlichen Gefäße, welches mit der Oeffnung auf das Waſſer geſetzt und ſo verſenkt werden kann, ohne daß es vom Waſſer erfüllt wird. **Halley** verweilte mittelſt einer ſolchen Glocke mit noch vier anderen Perſonen $1^1/_2$ Stunde auf dem Meeresgrunde. Die allgemeine Anwendbarkeit dieſer Vorrichtung wird aber dadurch beſchränkt, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird, und daß man ſich, wegen der zu ſtarken Verdichtung der Luft und des daraus entſtehenden Druckes auf den menſchlichen Körper, nicht in bedeutende Tiefen wagen darf.

19. Jeder Körper kann ſeinen Ort verlaſſen und in einen anderen übergehen, d. h. ſich bewegen. Man rechnet darum die **Beweglichkeit** zu den allgemeinen Eigenſchaften der Körper. Aber weder der Uebergang von Ruhe in Bewegung noch jener von der Bewegung in Ruhe, oder von einer Bewegung in eine andere, kann von dem betreffenden Körper ſelbſt hervorgebracht werden, ſondern dazu iſt immer eine beſondere von jenem Körper verſchiedene Urſache nothwendig. Man nennt das Unvermögen der Körper, den Zuſtand der Ruhe oder Bewegung ſelbſtthätig zu ändern, die **Trägheit**, und ſieht auch dieſe als eine allgemeine Eigenſchaft der Körper an. Undurchdringlichkeit und Trägheit ſind die Eigenſchaften, welche dem Materiellen ausſchließend zukommen, und es unterſcheidet erſtere das Phyſiſche vom Mathematiſchen, letztere das Materielle vom Immateriellen.

Die Trägheit der Körper wird uns von der Erfahrung in unzähligen Fällen, ja man kann ſagen, bei jeder Bewegung vor Augen geſtellt. Daß z. B. eine Kugel auf ebenem Boden deſto weiter fortlauft, je glatter dieſer Boden iſt, daß man ſich, wenn man von einer Anhöhe herabgelaufen iſt, in der Ebene nur ſchwer zurückhält, rührt von der Trägheit her. Den beſten empiriſchen Beweis für dieſe Eigenſchaft liefert die durch Jahrhunderte unverändert fortdauernde Bewegung der Himmelskörper.

20. Dasjenige, was einen Körper bewegt oder zu bewegen ſucht, nennt man Kraft. Eine ſolche wird immer als etwas von dem betreffenden Körper Verſchiedenes gedacht, ohne darum immer etwas von Außen auf ihn Wirkendes zu ſeyn. Die ſogenannten willkürlichen Bewegungen der Thiere, viele Bewegungen der Pflanzen erfolgen durch etwas in ihrem Organismus befindliches, das wir aber immer von dem Trägen, welches bewegt wird, als verſchieden denken. Wenn eine Kraft auch nur einen Augenblick, wie durch einen Stoß, auf ein Bewegliches wirkt, ſo bringt ſie dasſelbe, falls kein Hinderniß vorhanden iſt, in Bewegung, und ertheilt ihm zugleich das Beſtreben, dieſelbe unverändert fortzuſetzen. Dieſes Beſtreben nennt man Geſchwindigkeit. Es äußert ſich dadurch, daß ſich das Bewegliche, wenn kein Hinderniß vorhanden iſt, wirklich ohne Unterlaß nach derſelben Richtung fortbewegt, und in einer beſtimmten Zeit einen beſtimmten Weg zurücklegt. Der numeriſche Ausdruck des Weges, der in einer Zeiteinheit, z. B. in 1 Secunde zurückgelegt wird, iſt zugleich jener der Geſchwindigkeit, ſo daß z. B. dieſe Geſchwindigkeit = 3 iſt, wenn der in 1 Secunde zurückgelegte Weg drei Längeneinheiten beträgt. Die Geſchwindigkeit = 1 iſt demnach jene, vermöge welcher in einer Zeiteinheit ein Weg = 1 gemacht wird. Daß dieſelbe Kraft demſelben Beweglichen immer dieſelbe Geſchwindigkeit ertheilt, wenn ſie es von der Ruhe in Bewegung bringt, iſt für ſich klar, die Erfahrung lehrt aber, daß ſelbſt der Zuwachs an Geſchwindigkeit, den eine Kraft einem ſchon in Bewegung begriffenen Beweglichen zu Theil werden läßt, jener Geſchwindigkeit gleicht, welche dieſelbe Kraft dem ruhenden Beweglichen zu ertheilen vermag. Verſchiedene Kräfte ertheilen demſelben Beweglichen verſchiedene Geſchwindigkeiten, und zwar ſind der Erfahrung zu Folge die Geſchwindigkeiten den Kräften proportionirt. Folgende Betrachtung führt zu einer klaren Einſicht dieſer Wahrheit: Zwei Kräfte, die auf denſelben Punkt nach entgegengeſetzten Richtungen wirkend, ſich gegenſeitig aufheben, müſſen für gleich angenommen werden. Nimmt man irgend eine Kraft als Einheit an, ſo müſſen offenbar zwei ſolche nach derſelben Richtung wirkende Kräfte die Kraft = 2, drei ſolche die Kraft = 3, und allgemein n ſolche die Kraft = n vorſtellen. Man ſieht demnach, wie man Kräfte numeriſch ausdrücken kann. Läßt man nun hinter einander mehrere numeriſch beſtimmte Kräfte auf ein Bewegliches wirken, beſtimmt die durch jede derſelben erzeugte Geſchwindigkeit, und vergleicht die Zahlenwerthe dieſer Größen mit jenen der Kräfte, ſo findet man, daß die erſteren den letzteren proportionirt ſeyen. Dabei wird aber vorausgeſetzt, daß die Kräfte auf dasſelbe Bewegliche wirken. Wirkt dieſelbe Kraft ſucceſſiv auf verſchiedene Bewegliche, ſo ertheilt ſie nicht jedem dieſelbe Geſchwindigkeit. Da nämlich jedes materielle Theilchen wegen ſeiner Trägheit eigens bewegt werden muß, mithin jedes derſelben einen eigenen Kraftaufwand fordert, ſo wird die Geſchwindigkeit des Ganzen deſto kleiner ausfallen, je mehr materielle Theile es enthält, oder wie man zu ſagen pflegt, je größer ſeine Maſſe iſt. Umgekehrt wird

man ſchließen können, daß zwei Maſſen, die von derſelben Kraft dieſelbe Geſchwindigkeit erhalten, gleich ſeyen. Eine Maſſe, die von der Kraft = 1 die Geſchwindigkeit = 1 erhält, gibt die Einheit ab, nach welcher alle anderen Maſſen gemeſſen werden. Sind demnach M und m zwei Maſſen, C und c die Geſchwindigkeiten, welche ſie durch irgend eine Kraft erhalten, ſo hat man $M : m = c : C$ oder $MC = mc$. Ein ſolches Product aus der Maſſe in ihre Geſchwindigkeit heißt Größe der Bewegung. Ertheilen die Kräfte P und p den Maſſen M und m die Geſchwindigkeiten C und c, ſo iſt demnach $P : p = MC : mc$ oder für $p = 1$, $m = 1$, $c = 1$, $P = MC$. Es iſt daher der numeriſche Ausdruck der Größe der Bewegung zugleich jener der Kraft, welcher dieſer Größe entſpricht. Kräfte, die nicht wie die bisher betrachteten momentan, ſondern dauernd wirken, heißen beſchleunigende Kräfte. Eine ſolche erzeugt eine deſto größere Geſchwindigkeit, je länger ſie wirkt, und dieſe Geſchwindigkeit wird durch den Weg gemeſſen, den das Bewegliche in einer Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn es ſich ſelbſt überlaſſen wäre und nicht mehr von der Kraft afficirt würde.

21. Ein und derſelbe Körper enthält nicht unter allen Umſtänden bei demſelben Volum gleich viel Maſſe; denn die Erfahrung lehrt, daß ſich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper ausdehnbar und zuſammendrückbar iſt. Die Ausdehnung oder Zuſammendrückung kann durch mechaniſche, von Außen angebrachte Kräfte bewirkt werden; das kräftigſte Mittel, das Volum eines Körpers zu ändern, iſt aber Erwärmung und Erkältung. Durch erſtere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder, ſich in der Hitze zuſammenziehen, ſtatt ſich auszudehnen, ſo kommt dieſes auf Rechnung verflüchtigter oder zerſtörter Stoffe oder des aufgehobenen Gefüges, und kann deßhalb nicht als der Regel widerſprechend angeſehen werden.

Befeſtiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem anderen Stoffe an einem Ende und bringt am anderen ein Gewicht an, das ihn zu verlängern ſucht; ſo bemerkt man auch eine entſprechende Verlängerung desſelben. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Kautſchuk läßt ſich ſchon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein ſolcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe, als er länger geworden iſt, ſo daß alſo eine wirkliche Vergrößerung des Volums eingetreten iſt. Wird ein ſolcher Körper am unteren Ende aufgeſtemmt und von oben mit Gewichten belaſtet, ſo wird er zuſammengedrückt und ſein Volum vermindert. Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht, ſo lange ſie kalt iſt, bleibt in demſelben ſtecken, wenn man ſie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig engen Röhre verbunden iſt, mit einer Flüſſigkeit ſo weit an, daß dieſelbe in die Röhre reicht, ſo ſieht man ſie ſteigen, wenn Erwärmung eintritt; eine ſchlaffe Blaſe ſchwillt an, wenn ſie luftdicht zugebunden iſt und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel deſto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird, mit der Rückkehr der vorigen Wärme ſtellt ſich in der Regel wieder das vorige Volum ein.

22. Weil die Vergrößerung des Rauminhaltes in ſo genauer Verbindung mit der Erwärmung ſteht, ſo ſchließt man häufig von jener auf dieſe, ja es iſt die Größe der Ausdehnung eines Körpers der ſicherſte Maßſtab für die Größe der Erwärmung (Temperatur); denn die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt, und die man vielleicht für den einfachſten und beſten Maßſtab der Wärme zu halten geneigt ſeyn dürfte, taugt dazu nicht, weil ſie nicht allein von der Temperatur, ſondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Zuſtande der Wärme des Empfindenden ꝛc. abhängt, weßwegen ein Körper in demſelben Zuſtande einer und derſelben Perſon bald warm, bald lau, bald kalt erſcheinen kann. — Das Inſtrument, welches zum Meſſen der Temperatur dient, und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt **Thermometer**. Man bedient ſich heut zu Tage drei verſchiedener Arten der Thermometer, nämlich der Queckſilber-, Weingeiſt- und der Luftthermometer. Hier ſoll nur von den zwei erſten die Rede ſeyn.

23. Das **Queckſilberthermometer** beſteht aus einer gläſernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemeſſenes, meiſtens kugelförmiges Gefäß angeblaſen iſt. Dieſes wird bis zu einer beſtimmten Höhe mit reinem trockenem Queckſilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Queckſilber ſelbſt, theils zwiſchen dem Glaſe und dem Queckſilber enthalten iſt, durch Kochen ausgetrieben. Meiſtens vertreibt man auch die Luft, welche ſich oberhalb des Queckſilbers befindet, und ſchmilzt dann die Röhre zu; nur ſelten läßt man ſie offen. Ein ſo weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale verſehen. Zu letzterem Zwecke beſtimmt man zwei Punkte an der Röhre; den einen (Eispunkt) dadurch, daß man die Röhre in aufthauendes Eis ſenkt, ſo lange darin läßt, bis ſich die Länge der Queckſilberſäule nicht mehr ändert, und dann den Punkt am Glaſe anmerkt, der ihrem Ende entſpricht; den andern (Siedpunkt), indem man ſie in reines, ſiedendes Waſſer hält und eben ſo verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorſichten letzteres zu geſchehen habe. Den Abſtand dieſer zwei Punkte (Fundamentalabſtand) theilt man in gleiche Theile oder Grade, und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celſius, in 180 nach Fahrenheit, und bezeichnet in den erſten zwei Fällen den Eispunkt mit 0, im dritten mit 32, ſo daß dem Siedpunkte bei der Réaumur'ſchen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celſiſchen 100, bei der Fahrenheit'ſchen $180 + 32 = 212$ entſpricht. Man kann dieſe Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpunkte und unter 0 fortſetzen, und die Grade unter 0 negative oder Kältegrade nennen, zum Unterſchiede von denen über 0, welche man poſitive oder Wärmegrade heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. **Gay-Luſſac** lehrte ſie zuerſt aus ungleich weiten Röhren ſo verfertigen, daß zwiſchen je zwei auf einander folgenden Theilſtrichen gleiche Theile des Rauminhaltes der Röhre liegen. Man kann gleich an demſelben Thermometer mehrere Einthei-

lungen anbringen, und auch die Grade einer Eintheilung in die einer anderen durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Reaumur R, die ihr entſprechende Anzahl nach Celſius C, nach Fahrenheit F, ſo iſt:

$$\tfrac{4}{9}(F - 32) = R, \quad \tfrac{9}{4}R + 32 = F$$
$$\tfrac{4}{5}C = R, \quad \tfrac{5}{4}R = C$$
$$\tfrac{5}{9}(F - 32) = C, \quad \tfrac{9}{5}C + 32 = F.$$

Nach Delisle's nun wohl veralteter Thermometerſcale wird der Fundamentalabſtand in 150 gleiche Theile getheilt, der Siedpunkt mit 0, der Eispunkt mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Punkte ſeines Leinöhlthermometers den Schmelzpunkt des Eiſes und die Wärme ſeines Körpers angenommen und den Abſtand in 12 gleiche Theile getheilt. Erſt nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Punkte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabſtandes, zu welcher viele Vorſchläge gemacht wurden. Das erſte Thermometer war ein Luftthermometer; Drebbel, ein holländiſcher Landmann, ſoll es im Jahre 1630 erfunden haben.

24. Sollen zwei Queckſilberthermometer übereinſtimmend ſeyn, d. h. ſollen ſie unter einerlei Umſtänden übereinſtimmende Grade angeben; ſo müſſen ſie nicht allein genau auf dieſelbe Art in ihren weſentlichen Punkten verfertiget werden, ſondern es muß auch das angewendete Queckſilber von gleicher Natur und Reinheit ſeyn, die Temperaturen des aufthauenden Eiſes und des ſiedenden Waſſers müſſen beſtändig dieſelben bleiben, und ſowohl der Eis- als der Siedpunkt unverändert an dieſelbe Stelle fallen. Der Erfahrung gemäß iſt die Temperatur des reinen zerſtoßenen Eiſes oder des Schnees, von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung ſichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo ſie mit Waſſer durchzogen ſind, vollkommen conſtant und zu allen Zeiten dieſelbe; mittelſt dieſes wird daher der Eispunkt genau beſtimmt werden können. Die Hitze des ſiedenden reinen Waſſers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft und von der Tiefe der ſiedenden Schichte unter der Oberfläche des Waſſers ab, und es muß darum bei der Beſtimmung des Siedpunktes auf jeden dieſer Umſtände die gehörige Rückſicht genommen werden. Es iſt ſogar nicht gleichgültig, ob man die Fundamentalpunkte bald nachdem ein Thermometer gefüllt und luftleer gemacht worden, oder einige Monate ſpäter beſtimmt, und es ſoll immer letzteres Statt finden, wenn man vermeiden will, daß nicht der Eispunkt mit der Zeit eine kleine Verrückung erleide, und dem Siedpunkte näher rücke.

Man hat erfahren, daß Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden nur in allen metallenen Gefäßen bei demſelben Hitzegrade ſiedet, in gläſernen oder thönernen Gefäßen aber dazu eine höhere, und nicht in allen Gefäßen gleiche Temperatur braucht; deßhalb ſoll die Beſtimmung des Siedpunktes ſtets in einem Metallgefäße geſchehen. Jedoch haben ſelbſt in einem ſolchen Gefäße nicht alle Schichten des ſiedenden Waſſers einerlei Hitze, ſondern dieſe iſt an der oberſten Schichte am geringſten, und wächſt von oben nach unten ſo, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwiſchen der Hitze der oberſten und unterſten Schichte ein ſehr bedeutender Unterſchied herrſcht. Die Temperatur der ober-

ſten Waſſerſchichte hat auch der Dampf über dem Waſſer, vorausgeſetzt, daß er ſich reichlich entwickelt und nicht durch eine zu große Oeffnung entweichen kann. Darum beſtimmt man den Siedpunkt am beſten im Dampfe, unmittelbar über der Fläche des ſiedenden Waſſers. Iſt das Kochgefäß ſo eingerichtet, daß der Dampf erſt abwärts ſteigen muß, um ins Freie gelangen zu können, ſo nimmt ſelbſt im empfindlichſten Inſtrumente das Queckſilber einen vollkommen ſtationären Stand an, und läßt über den wahren Ort des Siedpunktes gar keine Unſicherheit übrig. Aber ſowohl der Waſſerdampf als die oberſte ſiedende Waſſerſchichte haben nur bei demſelben Luftdrucke dieſelbe Temperatur, und werden deſto heißer, je größer der Luftdruck iſt. Die Folge wird lehren, daß man dieſen Druck durch den Stand des Barometers erkennt. Deßhalb ſoll man den Siedpunkt entweder nur bei einem beſtimmten Barometerſtande, nämlich bei dem von 28 Pariſer Zoll beſtimmen, oder den bei einem anderen Stande gefundenen auf jenen reduciren. So lange das Barometer über 26 Pariſer Zoll ſteht, findet man den Fundamentalabſtand für jede Pariſer Linie, um welche der Luftdruck größer als 28 Pariſer Zoll iſt, um 0.0007 zu groß, und für jede Linie unter 28 Pariſer Zoll um eben ſo viel zu klein. Beim Füllen eines Thermometers wird nothwendig der Queckſilberbehälter einer hohen Temperatur ausgeſetzt und bedeutend erweitert. Der Erfahrung zu Folge erlangt er nicht gleich, nachdem er wieder erkaltet iſt, genau ſeine vorige Größe, und das Queckſilber ſteht darum verhältnißmäßig zu tief. Beim Luftleermachen wird derſelbe aber durch den äußeren Luftdruck zuſammengepreßt und dadurch wieder verengert. Meiſtens wird durch dieſe Verkleinerung die von der ſtarken Erhitzung herrührende Vergrößerung compenſirt. Beſtimmt man daher den Eispunkt eines Thermometers bald nach dem dieſes gefüllt und luftleer gemacht worden, ſo fällt er in der That auf ſeine gehörige Stelle. Allein nach einiger Zeit (nach etwa vier Monaten) verliert ſich die von der Erhitzung herrührende Vergrößerung des Queckſilberbehälters, während die vom Luftdrucke herrührende Verkleinerung desſelben fortdauert, und ſo kommt es, daß nach dieſer Zeit der Eispunkt dem Siedpunkte näher gerückt erſcheint. Wenn man den Eispunkt erſt wenigſtens vier Monate nach dem Füllen des Thermometers beſtimmt, ſo hat man eine ſolche Verrückung des Eispunktes nicht mehr zu befürchten; aber wenn das Inſtrument einer ſtarken Erhitzung (bis auf etwa 300°) ausgeſetzt wird, tritt eine ähnliche Vergrößerung des Queckſilberbehälters wie beim erſten Füllen neuerdings ein, verſchwindet aber wieder nach mehreren Monaten. (Siehe **Gintl** in Zeitſchr. n. F. 55 u. 117.)

25. **Weingeiſtthermometer** ſind den Queckſilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weiſe verfertigt, nur mit dem Unterſchiede, daß man als thermometriſche Flüſſigkeit ſtatt Queckſilber ſtarken (36 — 40gradigen) gefärbten Weingeiſt nimmt. Wiewohl dieſer für ſich im Freien ſchon unter 100° C ſiedet, ſo kann man doch Weingeiſtthermometer verfertigen, welche ohne Gefahr des Zerſpringens die Hitze des ſiedenden Waſſers aushalten. Man braucht ſie nur ganz luftleer zu machen. Die entſtehenden Weingeiſtdünſte hindern durch ihren Druck das Sieden des Weingeiſtes, und haben doch nicht Kraft genug, ein ſtarkes Glas zu zerreißen. Es iſt wohl an ſich klar, daß ein Weingeiſt- und ein Queckſilberthermometer nicht mit einander übereinſtimmen werden. Oberhalb des Eispunktes iſt der Gang des Wein-

geiſtthermometers weniger regelmäßig als jener eines Queckſilberthermometers; unter dem Eispunkte befolgt aber jenes einen eben ſo regelmäßigen, ja in der Nähe des Gefrierpunktes des Queckſilbers ſogar einen richtigeren Gang als dieſes.

Zur Angabe der höchſten und niedrigſten Temperatur, welche während einer gewiſſen Zeit Statt fand, dient Rutherford's Maximum- und Minimum-Thermometer (Fig. 3). Es beſteht aus zwei an derſelben Faſſung befeſtigten horizontal liegenden Thermometern a und b, deren eines Queckſilber, das andere Weingeiſt enthält. In der Röhre des Queckſilberthermometers befindet ſich ein kleiner Cylinder von Eiſen oder Stahl, der ſich ohne merkliche Reibung darin bewegen kann. Dieſen treibt die Queckſilberſäule vor ſich hin, und läßt ihn an dem höchſten Punkte der Scale liegen, wodurch das Maximum der Temperatur angezeigt wird. In der Röhre des Weingeiſtthermometers hingegen iſt ein ſolcher Cylinder aus Glas oder Email angebracht, der im Weingeiſte ganz eingetaucht ſchwimmt. Zieht ſich der Weingeiſt zuſammen, ſo nimmt die Oberfläche desſelben dieſen Zeiger mit fort, ſo wie ſich aber die Weingeiſtſäule verlängert, geht die Flüſſigkeit an den Seiten des Cylinders vorbei, während dieſer an der tiefſten Stelle der Scale, wohin er kam, liegen bleibt, und ſo das Minimum der Temperatur anzeigt. Die beiden Thermometer haben eine entgegengeſetzte Stellung, damit durch gehöriges Neigen ihrer Faſſung der Zeiger in jedem zur Oberfläche der Flüſſigkeitsſäule zurückgeführt werden könne, wenn eine neue Beobachtung beginnen ſoll.

Von Luftthermometern und von den Differenzialthermometern wird ſpäter die Rede ſeyn. Ueber die Verfertigung der Thermometer ſiehe: Luz Anweiſung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1834. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer. Jena, 1824. Rudberg in Pogg. Ann. 40, 39 u. 582.

26. Für große Hitzgrade, die mittelſt der Thermometer nicht mehr beſtimmt werden können, bedient man ſich ſogenannter Pyrometer. Dieſe ſind noch bei weitem nicht auf einen ſo hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer. Am häufigſten bedient man ſich des Wedgewood'ſchen Pyrometers. Dieſes beruht auf der Eigenſchaft des Thones, ſich in der Hitze nach Verhältniß ihrer Intenſität zuſammenzuziehen, und beim Abkühlen das kleinſte Volum, das er hatte, beizubehalten. Es beſteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu meſſen. Dieſe Vorrichtung (Fig. 4) wird von zwei convergirenden, etwa 12 Zoll langen Leiſten gebildet, die an einem Ende um 0.5 Zoll, am anderen um 0.3 Zoll von einander abſtehen, und zwiſchen welche obige Cylinder deſto weiter hineingeſchoben werden können, je kleiner ſie ſind. Die Leiſten ſind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorſtellen. Die Cylinder werden aus eigens gemiſchtem Thone von Cornwallis gemacht, zuerſt alle von gleicher Größe angetragen, und hierauf bei 100° C getrocknet. Schon beim Trocknen ſchwinden ſie ungleich, ſo daß wohl einige bis zum Nullpunkte der Scale mit der vorderen Kante zwiſchen die Leiſten geſchoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit reichen. Um alle brauchen zu können, notirt man auf jedem Stücke die Zahl, um

welche es zu klein oder zu groß iſt, und zwar erſtere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgeſtumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rückſicht nehmen könne. Die ſo regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meiſtens bis zum 5ten oder 7ten Grade. — Will man mit dieſem Inſtrumente eine hohe Temperatur beſtimmen, ſo ſetzt man einen ſolchen Thoncylinder derſelben aus, läßt ihn dieſe Temperatur annehmen, hierauf aber erkalten, wornach man ihn zwiſchen die zwei Leiſten der Skale, ſo weit es angeht, einſchiebt, und den Grad ablieſt, der ſeiner Vorderfläche entſpricht, berückſichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entſpricht der Nullpunkt der Scale einer Temperatur von 1077° F = $580^\circ\ {}^1/_2$ C und jeder Grad 132° F = $73^\circ\ {}^1/_3$ C. Nach Guyton Morveau ſtimmt aber der Nullpunkt der W. Scale mit 517° F und jeder Grad mit $62^\circ\ {}^1/_2$ F überein. Uebrigens ſetzt dieſes Inſtrument voraus, daß ſich der Thon ſeiner Temperatur proportional zuſammenziehe, eine Vorausſetzung, deren Richtigkeit ſchon darum ſtarken Zweifeln ausgeſetzt iſt, weil gleich beim erſten Trocknen nicht alle Cylinder gleich ſtark ſchwinden. Nach Daniell zieht ſich ein Thoncylinder in einer mäßigen, lange anhaltenden Hitze eben ſo ſtark zuſammen, wie in einer hohen, nur kurz dauernden. Darum iſt auf die Zuverläßigkeit ſolcher Inſtrumente nicht viel zu bauen. Man hat deßhalb auch andere pyrometriſche Vorrichtungen vorgeſchlagen. (Beſchreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu meſſen ꝛc., von J. Wedgewood. Aus dem Engliſchen. London, 1786.)

Guyton Morveau (Mémoires de l'Acad. 1808) mißt die Hitzgrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins, Daniell (Edinb. philos. journ. N. 10. 397) durch den Unterſchied zwiſchen der Ausdehnung des Platins und des Graphites, Mill (Zeitſchr. 2. 75) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarſten dürfte wohl Prinſep's Vorſchlag ſeyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpunkten verſchiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpunkte des Silbers, Goldes und Platins liegen ſo weit aus einander, daß ſie recht wohl die fixen Punkte der Scale abgeben können, und für die Zwiſchengrade dienen die Schmelzpunkte verſchiedener Legirungen aus dieſen Metallen. Zwiſchen dem Schmelzpunkte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen, und die zu ihrer Beſtimmung paſſenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber ſucceſſiv immer 10 Proc. Gold zuſetzt. Zwiſchen den Schmelzpunkten des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade, und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze dieſen Graden entſpricht, indem man mit dem Golde ſucceſſiv 1 Proc. Platin verbindet. Es iſt kein Zweifel, daß dadurch in die pyrometriſchen Beſtimmungen Uebereinſtimmung gebracht wird, und da man von den Metallegirungen nur ſehr kleine Maſſen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes), und jede derſelben ſehr oft benützt werden kann; ſo dürfte dieſes Inſtrument wohl bald den erſten Platz einnehmen.

27. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterſchieden werden können, ergibt ſich ſchon aus der Eigenſchaft der Ausdehnung,

die ihnen zukommt; daß aber dieſe Theile getrennt werden können, oder daß die Körper theilbar ſind, läßt ſich erſt aus der Erfahrung abnehmen. Dieſe lehrt, daß jeder Körper theilbar ſey, und daß ſelbſt der härteſte, der Diamant, wenigſtens durch ſein eigenes Pulver geſchliffen, mithin getheilt werden könne. Ob die Theilbarkeit ins Unendliche gehe, oder überhaupt, wie weit ſie gehe, läßt ſich auf dem Wege der Erfahrung nicht ausmachen; ſo viel iſt aber gewiß, daß einige Körper, wie z. B. die dehnbaren Metalle, die riechenden, leuchtenden und färbenden Stoffe, durch Kunſt in erſtaunungswürdig kleine Theile getheilt werden können.

Aus einem Gran Gold ſchlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine ſilberne Stange von 22 Zoll Länge und $1^1/_4$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes, und ziehen ſie dann zu einem Drahte aus, der 97 franzöſiſche Meilen lang iſt; wird er noch dazu platt gedrückt, ſo erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und iſt doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke ſo gering iſt, daß nach Black's Berechnung 14 Millionen erſt die Dicke eines Zolles geben, während eben ſo viele Blätter gemeinen Druckpapiers $^3/_4$ engliſche Meilen einnehmen. Platin läßt ſich durch ein eigenes, von Wollaſton angegebenes Verfahren zu Draht von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Silber läßt ſich zu Plättchen ausdehnen, wovon 8 Millionen auf einander gelegt erſt die Dicke von $1^1/_4$ Linie haben, und ein 1 Gran ſchweres Silberklümpchen läßt ſich zu einem 60 Fuß langen Draht ausziehen. Ein kleines Stück Moſchus erfüllt ein ſehr großes Zimmer mit ſeinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchsſinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchſtaben an eine Wand ſchreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Karmin färbt 20 Pfund Waſſer merklich roth, und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $^1/_{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfiſchmilch von der Größe eines Sandkorns 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroſkopiſche Thiere, deren Bau ſo zuſammengeſetzt iſt, wie jener des Elephanten.

28. Man unterſcheidet die mechaniſche Theilung der Körper von der chemiſchen. Durch erſtere erhält man Theile, welche ſich vom Ganzen und unter ſich nicht durch ihre innere Natur, ſondern bloß durch Geſtalt und Größe unterſcheiden, durch letztere aber werden Theile erhalten, die vom Ganzen ſowohl als unter ſich ihrer Natur nach verſchieden ſind. So z. B. iſt das Zerreiben eines Stückes Zinnober zu Pulver eine mechaniſche, die Zerlegung desſelben in Schwefel und Queckſilber hingegen eine chemiſche Theilung. Die mechaniſche Theilung wird durch Schlagen, Stoßen, Mahlen, Schneiden, Hobeln, Raspeln, Feilen, Walzen, kurz durch mechaniſche Mittel, die chemiſche hingegen nur durch den Körpern eigene Kräfte bewerkſtelliget. Jene materiellen Theile eines Körpers, welche weder durch mechaniſche noch durch chemiſche Mittel mehr getheilt werden können, nennt man Atome; eine Gruppe von Atomen, die durch Kräfte zuſammengehalten werden, wird ein Molekel, und ein Aggregat von Molekeln ein

Maſſetheilchen, Partikel genannt. Die mechaniſche Theilung erſtreckt ſich immer nur auf Partikel oder Molekel, die chemiſche hingegen reicht bis zu den Atomen hinab.

Die Exiſtenz von Atomen in dem eben angegebenen Sinne kann nicht bezweifelt werden. Ob dieſelben aber das unmittelbare Subſtrat alles Materiellen ſeyen, mithin als das Letzte die Materialität Begründende angeſehen werden müſſen, wie die alten Atomiſten behaupteten, oder ob ſie ſelbſt das Produkt einander hemmender, anziehenden und abſtoßenden Kräfte ſeyen, wie die Dynamiſten annehmen, darüber iſt man noch nicht einig und wird es vielleicht auch nie werden. Für den Phyſiker gilt jeder als Dynamiſt, der bei der Verbindung heterogener Atome zu einem gleichartigen Ganzen eine Durchdringung derſelben zuläßt, und jeder als Atomiſt, der daran nur eine neue Juxtapoſition der Atome ſieht.

29. Die Atome der Körper ſcheinen einander nicht bis zur Berührung genähert zu ſeyn, ſondern in großen Abſtänden von einander erhalten zu werden. Dasſelbe gilt auch von den Molekeln und Partikeln. Bei letzteren können dieſe Abſtände manchmal ſogar deutlich wahrgenommen werden, oder ſie verrathen ſich durch mannigfaltige Erſcheinungen. Man ſagt dann, ein Körper beſitze Zwiſchenräume (Poren). Meiſtens dehnt man dieſes auf alle Körper aus, und ſieht die Poroſität als eine allgemeine Eigenſchaft der Körper an, wiewohl es Körper gibt, bei denen gar kein Grund für das Daſeyn von Poren vorliegt.

An vielen Körpern erkennt man die Zwiſchenräume ſchon mit freiem Auge, wie z. B. beim Korkholz; bei anderen Holzarten ſchließt man auf ihr Daſeyn daraus, daß man mittelſt der Hand oder einer Preſſe Queckſilber durchpreſſen kann; aus Eiern, Nußſchalen, ſelbſt aus dem ſogenannten Hydrophan (einem poröſen Steine) ſteigen Luftblaſen auf, wenn man ſie ins Waſſer legt, zum Beweiſe, daß die in den Zwiſchenräumen enthaltene Luft durch das Waſſer vertrieben wird, mithin zum Beweiſe des Daſeyns der Zwiſchenräume ſelbſt. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Tiefe eindringen; tropfbar flüſſige Körper, z. B. Waſſer, Weingeiſt, ſaugen luftförmige Stoffe ein, und beurkunden dadurch ihre Poroſität. Wie groß die Anzahl der Zwiſchenräume in den Häuten der Thiere ſey (wenn es überhaupt erlaubt iſt, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirkſamkeit der Salben und Räucherungen ſchließen.

30. Man ſieht ſchon aus dem Vorhergehenden, daß nicht alle ſogenannten allgemeinen Eigenſchaften der Körper einerlei Rang behaupten. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit ſind Bedingungen der Wahrnehmbarkeit der Körper, müſſen alſo nothwendig bei jedem materiellen Dinge, das als ſolches erkannt werden ſoll, vorhanden ſeyn; Trägheit und Beweglichkeit ſind weſentliche Merkmale alles Materiellen, aber nur durch Erfahrung gegeben. Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit endlich ſind reine Erfahrungseigenſchaften, die nicht als weſentlich erſcheinen. Eben dahin gehört auch die Schwere. Alle Körper haben nämlich ein Beſtreben zur Erde zu fallen, welches ſie durch den wirklichen Fall oder durch den Druck auf ihre Unterlage

äußern. Man ſagt daher, ſie ſeyen ſchwer, und rechnet die Schwere zu den allgemeinen Eigenſchaften der Körper. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man eben ſo wenig die Schwere abſprechen, weil ſie in der Luft aufwärts ſteigen, als man ſie einem Stücke Korkholz abſpricht, weil es ſich im Waſſer erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, ſondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umſtand, daß man bei der Theilung derſelben in die kleinſten Stücke jedes ſchwer findet. Die Richtung eines frei fallenden Körpers heißt vertical. Sie wird durch einen biegſamen, von einem ſchweren, frei hängenden Körper geſpannten Faden angezeigt. Eine darauf ſenkrechte Linie oder Ebene heißt horizontal. Der Erfahrung gemäß ſind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren ſie gegen die Erde zu. An demſelben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerſtehenden Mittel, alle Körper gleich ſchnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es ſind daher alle gleich ſchwer. Die Schwere eines Körpers ändert ſich nicht mit der Zeit, wohl aber von Ort zu Ort, ſie wird näher gegen den Aequator der Erde kleiner, näher gegen die Pole größer, und nimmt ſelbſt in größerer Entfernung vom Erdmittelpunkte ab. Man ſieht die Erſcheinungen der Schwere als Erfolg einer anziehenden Kraft an, welche die Erde auf alle Körper ausübt, und die deßhalb Schwerkraft genannt wird.

31. Der Druck, den ein Körper auf ſeine horizontale Unterlage vermög ſeiner Schwere ausübt, heißt ſein Gewicht. In ſofern man alle Theile eines Körpers als gleich ſchwer betrachten darf, kann man im Einklange mit dem in 20 Geſagten das Gewicht P deſſelben ſeiner Maſſe M und der Geſchwindigkeit g, welche die Schwere an dem Orte, wo er ſich befindet, der Maſſeneinheit während der Zeit 1 ertheilt, proportionirt ſetzen, ſo daß:

$$P = gM \ldots (1)$$

iſt. Hier ſtellt g zugleich das Gewicht der Maſſe 1 vor, und das Gewicht der Maſſe, welche den numeriſchen Werth $\frac{1}{g}$ hat, iſt die Einheit der Gewichte. Da an demſelben Orte, wo g conſtant iſt, die Gewichte zweier Körper ſich wie ihre Maſſen verhalten, ſo dienen die Gewichte zur Vergleichung der Maſſen. In dieſem Sinne ſieht man das Gewicht als das wahre Maß der Maſſe eines Körpers an, und beſtimmt letztere durch erſteres. Man kann, da es ſich hierbei um bloße Verhältniſſe handelt, ſogar von der Gewichtseinheit, welche obiger Formel zu Grunde liegt, abgehen, und wie es im gemeinen Leben geſchieht, ein beliebiges Gewicht als Einheit annehmen, und mittelſt Abwägen (wovon ſpäter die Rede ſeyn wird) finden, wie vielmal dieſe Einheit in dem zu unterſuchenden Gewichte enthalten iſt.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Waſſers bei einer Temperatur von 2°. 7 R. als Einheit angenommen und Gramme genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tauſendtel davon heißt

Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tauſendfache desſelben Dekagramme, Hektogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Zentner, ein Pfund, ein Loth ꝛc. als Einheit des Gewichts an; in jedem Lande iſt die Größe einer ſolchen Einheit beſtimmt. Ein Wiener Pfund (32 Lothe jedes zu 240 Gran) hält 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13.714 Gran des Wiener Gewichtes. Ein Pariſer Pf. hält 489506 Mill., ein engl. Pf. (av. du p.) 373202 Mill., ein preuß. Pf. 467711 Mill., und ein bayr. Pf. 560000 Mill. Unter dem Ausdrucke: Einheit des Gewichtes, oder Gewicht = 1 ſoll in der Folge ſtets ein Pfund verſtanden werden, wenn nicht ausdrücklich ein anderer Werth feſtgeſetzt wird.

32. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartigen Körper von verſchiedenem Volum bei gleicher Wärme, ſo findet man, daß ſie im geraden Verhältniſſe mit den Rauminhalten ſtehen, und man kann daher dasſelbe auch von ihren Maſſen ſagen. Dieſes iſt aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demſelben Volum mehr Gewicht hat, als ein anderer, im Einklange mit der Vorſtellung, daß dieſes von der größeren Menge Materie in demſelben Raume herrühre, *dichter*, und zwar in demſelben Verhältniſſe, als er mehr Gewicht beſitzt. Um die Dichten der Körper bequem durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die größte Dichte, welche reines Waſſer haben kann (die Dichte desſelben bei 3° R), zur Einheit an, und gibt der Dichte jedes andern Körpers den Zahlwerth, welcher anzeigt, wie oft ſeine Maſſe die des Waſſers unter demſelben Volum in ſich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes durch 19 aus, weil ein Volum desſelben 19mal mehr Maſſe hat, als ein gleich großes Volum Waſſer.

33. Es iſt der Einfachheit der Formeln wegen zweckmäßig, für die Einheit der Maſſen, welche wir bis jetzt noch unbeſtimmt gelaſſen haben, diejenige anzunehmen, welche der Körper, deſſen Dichte wir = 1 geſetzt haben, nämlich das reine Waſſer im dichteſten Zuſtande, unter dem Volum 1 darbietet. Dieß vorausgeſetzt ſtimmt der Zahlwerth der Dichte eines Körpers mit jenem ſeiner Maſſe unter dem Volum 1 überein, und man hat überhaupt, wenn M die Maſſe, V das Volum, D die Dichte eines Körpers bedeutet, die Gleichung

$$M = VD \ldots (2).$$

Hierdurch verwandelt ſich die oben (31) gegebene Formel (1) in

$$P = gVD \ldots (3).$$

Das Gewicht eines Körpers ohne Rückſicht auf ſeinen Rauminhalt nennt man ſein *abſolutes* Gewicht. Das Gewicht eines Körpers unter dem Volum = 1 hingegen nennt man ſein *eigenthümliches* oder *ſpecifiſches* Gewicht. Setzt man daher in (3) V = 1, ſo erhält man gD als Ausdruck für das ſpezifiſche Gewicht. Bezeichnet man dieſes mit S, ſo hat man

$$P = VS \text{ oder } S = \frac{P}{V} \ldots (4).$$

Dieſe Formel gilt offenbar für jede beliebige Einheit der Gewichte. Haben für einen zweiten Körper d und s dieſelbe Bedeutung, wie für

den erſten D und 8, ſo wird für einerlei Werth von g

$$8 : s = D : d$$

oder es verhalten ſich die ſpecifiſchen Gewichte wie die Dichten. Aus dieſem Grunde darf man manchmal das ſpecifiſche Gewicht mit der Dichte verwechſeln.

34. Man drückt das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers auf eine zweifache Weiſe aus: 1) Durch das abſolute Gewicht unter dem Volum = 1, wie z. B. wenn man ſagt, ein Kubikfuß Waſſer wiegt $56^1/_2$ Pfund. Dieſes iſt der eigentliche Ausdruck des ſpecifiſchen Gewichtes. 2) Durch eine Zahl, welche anzeigt, wie vielmal in dem Gewichte des fraglichen Körpers unter dem Volum = 1 das Gewicht des reinen Waſſers unter demſelben Volum und bei oben genannter Temperatur enthalten iſt. Es wird zwar dadurch nur der Exponent des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte angezeigt, man erlangt aber den Vortheil, eine von der Verſchiedenheit der Gewichtseinheiten und der Raummaße verſchiedener Länder unabhängige Angabe zu erhalten. Beide Arten, das ſpecifiſche Gewicht der Körper auszudrücken, laſſen ſich leicht in einander verwandeln: Iſt z. B. das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers nach (1) gleich p, das ſpecifiſche Gewicht irgend eines Körpers nach (1) gleich q, nach (2) gleich s, ſo hat man

$$q = ps \text{ und } s = \frac{q}{p}.$$

Das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers nach der zweiten Bedeutung und die Dichte desſelben werden durch dieſelbe Zahl bezeichnet; darum werden wir in der Folge das ſpecifiſche Gewicht ſtets nach der erſten Bezeichnung angeben.

Zweites Kapitel.

Verſchiedenheit der Körper im Allgemeinen.

35. Die Körper unterſcheiden ſich von einander dem Aeußeren nach durch ihren Aggregationszuſtand, dem Inneren nach durch ihre chemiſche Beſchaffenheit; von beiden Unterſchieden ſoll nun ausführlicher geſprochen werden.

A. Aggregationszuſtand.

36. Unter Aggregationszuſtand verſteht man die Art der Verbindung der Theile eines Körpers unter einander. In Rückſicht dieſer Verbindung laſſen ſich alle Körper in zwei Claſſen bringen, in die der feſten (ſtarren) und in die der flüſſigen. Feſt heißt ein Körper, deſſen Theile zu ihrer Verſchiebung eine merkliche Kraft erfordern; flüſſig, deſſen Theile abſolut leicht, d. h. durch jede beliebige wie immer kleine Kraft verſchiebbar ſind. Die flüſſigen Körper zerfallen wieder in tropfbar flüſſige und in ausdehnſam flüſſige. Erſtere ſind ſchwer zuſammendrückbar, letztere laſſen ſich leicht zuſammendrücken, und ſuchen ihren Raum beſtändig zu erweitern. Der Kürze wegen werden wir in der Folge die tropfbar flüſſigen

ſchlechtweg tropfbare nennen. Man iſt ſeit langer Zeit her gewohnt, die ausdehnſamen Körper in Gaſe und in Dünſte einzutheilen, wovon erſtere bei jedem Drucke und bei jedem Kältegrade ausdehnſam bleiben, während letztere durch Zuſammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zuſtand übergehen. In der neueren Zeit hat man aber die meiſten Körper, die man ſonſt für Gaſe hielt, tropfbar dargeſtellt, und es wahrſcheinlich gemacht, daß der Unterſchied zwiſchen Gaſen und Dünſten nicht weſentlich ſey. Weil es aber das Auffaſſen der Erſcheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche meiſtens im ausdehnſamen Zuſtande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnſam bald tropfbar erſcheinen, auch durch die Bezeichnung unterſcheidet; ſo wollen wir diejenigen Gaſe nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck ſtets ausdehnſam ſind, und mit dem Worte Dunſt diejenigen bezeichnen, welche ſich unter dieſen Umſtänden bald ausdehnſam, bald tropfbar zeigen. Wahrſcheinlich ſind die Molekel aller Körper, ſowohl der feſten als der flüſſigen ſtarr.

37. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes kann keine innere Verſchiedenheit der Körper begründen, und es kann derſelbe Körper ohne Aenderung ſeiner inneren Natur in allen drei Aggregationsformen erſcheinen, wie wir dieſes am Waſſer ſehen, das bald feſt als Eis, bald tropfbar, bald gar ausdehnſam als Waſſerdunſt erſcheint. Dieſe Umwandlung des Aggregationszuſtandes bewirkt die Wärme und ein Druck von beſtimmter Größe. Denn durch Erhöhung der Temperatur bis zu einem von der Natur einzelner Körper abhängigen Grade werden feſte Maſſen tropfbar flüſſig und tropfbare ausdehnſam, während durch Verminderung der Temperatur gerade entgegengeſetzte Erſcheinungen erfolgen. Wenn es uns auch nicht gelingt, alle Körper durch Erwärmung oder Erkältung in allen drei Zuſtänden darzuſtellen; ſo kann man doch immerhin annehmen, es fehlen uns bloß die Mittel, den dazu nöthigen Wärme- oder Kältegrad zu erzeugen, ausgenommen die Fälle, in welchen Körper eher chemiſch zerſetzt werden, als ſich ihr Aggregationszuſtand ändert. Durch mechaniſchen Druck laſſen ſich viele ausdehnſame Körper in tropfbar flüſſige verwandeln. Vorzüglich wirkſam zeigt ſich diejenige Art der Compreſſion, welche ein ausdehnſamer Körper auf ſich ſelbſt ausübt, und die Faraday zuerſt mit beſtem Erfolge angewendet hat.

Faraday ſchloß den Stoff, welcher das Gas liefern ſoll, in eine hinreichend dicke Glasröhre luftdicht ein, und wendete hierauf das Mittel an, wodurch die Gasentwicklung hervorgebracht wird. Iſt dieſes kräftig genug und das Glas hinreichend ſtark, ſo wird anhaltend Gas erzeugt, und das bereits vorhandene bis zum tropfbaren Zuſtande verdichtet. Auf dieſe Weiſe haben Faraday und Niemann ſchwefelige Säure, Cyan, Chlor, Ammoniak, Chloroxyd, Schwefelwaſſerſtoff, Salzſäure, Kohlenſäure, Stickſtoffoxydul und chlorige Säure tropfbar, Thilorier Kohlenſäure in großer Menge nicht nur tropfbar, ſondern durch fernere Behandlung ſogar feſt dargeſtellt. (Gilb. Ann. 75. 335. Brande's Archiv 36. 175. Pogg. Ann. 36. 141.)

38. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes läßt ſich nicht wieder aus Erſcheinungen herleiten; man nimmt daher zu Kräften ſeine Zuflucht, die als der Materie zugehörig gedacht werden. Folgende Anſicht ſcheint der Sache am meiſten zu genügen, wird aber erſt in der Folge (II. Abſchn. 4. u. 5. Kap.) hinreichend detaillirt werden. Jeder Körper iſt ein Aggregat von kleinen materiellen Theilen, die ein beſtändiges Beſtreben ſich zu vereinigen beſitzen, welches man mit dem Worte Anziehung bezeichnet. Dieſes iſt keine hypothetiſche Vorausſetzung (ſo lange man dieſe Anziehung nicht näher beſtimmt), ſondern eine Thatſache, welche durch den bei der Verſchiebung oder Trennung feſter Körper ſich äußernden Widerſtand überhaupt bewieſen iſt, und in der Folge an den Phänomenen der Kryſtalliſation und der Haarröhrchen eine noch nähere Beſtätigung erhalten wird. Wäre dieſes Beſtreben der Theile zur gegenſeitigen Annäherung das einzige in der Materie herrſchende, ſo würden ſich dieſe Theile einander bis zur Berührung nähern, und es müßte dann ein Körper immer dasſelbe Volum beibehalten. Weil aber dagegen die beſtimmteſten Erfahrungen ſtreiten, ſo muß es etwas geben, das der Anziehung entgegenwirkt, und deßhalb Abſtoßung genannt wird. Man kann (nach 10) dieſe uns unbekannte Urſache der Anziehung Anziehungskraft, die der Abſtoßung Abſtoßungskraft nennen und behaupten, daß dieſe zwei einander entgegengeſetzten Kräfte die Lage und Verbindung der kleinſten Maſſentheilchen eines Körpers, mithin auch deſſen Volum und Aggregationszuſtand, beſtimmen. So wie äußere Umſtände die Wirkſamkeit der einen oder der anderen dieſer Kräfte begünſtigen, muß ſich das Volum vergrößern oder verkleinern, oder es wird gar eine Aenderung des Aggregationszuſtandes erfolgen. Es iſt nicht ausgemacht, ob die Abſtoßungskraft, gleich der Anziehungskraft, der Materie eigenthümlich zugehöre, oder ob ſie bloß von einem feinen Agens herrühre, welches die Theile der Körper umgibt. Indeß hat dieſe Ungewißheit auf unſere Forſchungen keinen Einfluß, weil es hauptſächlich nur auf die Geſetze ankommt, nach welchen jene Kräfte wirken.

B. Chemiſche Beſchaffenheit der Körper.

39. Es iſt einleuchtend, daß nicht alle Verſchiedenheit der Körper von der Verbindungsweiſe ihrer kleinſten Theile herrühre, ſondern daß man auch materielle Verſchiedenheiten annehmen müſſe. Kein Aufmerkſamer wird wohl, des gleichen Aggregationszuſtandes ungeachtet, Waſſer mit Baumöhl, Eiſen mit Glas verwechſeln. An manchem Körper erkennt man die materielle Verſchiedenheit ſchon unmittelbar durch die Sinne, allein in vielen Fällen mangeln derlei ſinnliche Criterien gänzlich, oder ſie ſind in zu geringem Grade vorhanden, oder endlich gar trüglich. So z. B. unterſcheiden wir allerdings Waſſer von Weingeiſt durch den Geſchmack, Eiſen von Glas durch Farbe und Durchſichtigkeit ꝛc., allein die atmoſphäriſche, zum Athmen geeignete Luft, läßt ſich von dem beim Verbrennen der Kohle erzeugten, erſtickenden Gaſe durchaus nicht durch ein unmittelbares, ſinnli-

ches Merkmal unterſcheiden. Glücklicher Weiſe wirken verſchiedene Körper durch eine eigene, innere Kraft ſo auf einander, daß man ſie dadurch von einander zu unterſcheiden vermag, wenn man mit den Wirkungen derſelben vertraut iſt. Dieſe Kraft zielt im Allgemeinen dahin, die Atome (28) ungleichartiger Körper zu einem durchaus gleichartigen Ganzen (zu einem chemiſchen Producte) zu verbinden, und heißt chemiſche Anziehung. Von Körpern, denen dieſe Kraft zukommt, ſagt man, ſie haben eine chemiſche Verwandtſchaft oder Affinität zu einander. Das Product, welches aus der chemiſchen Vereinigung der Stoffe hervorgeht (oder auch den Prozeß, wodurch es gebildet wird), nennt man eine chemiſche Miſchung, oder wenn ſich ein feſter Körper mit einem flüſſigen zu einem flüſſigen Producte vereiniget, eine Auflöſung, zum Unterſchiede von dem Producte einer bloß mechaniſch wirkenden Kraft, welches ein Gemenge heißt. Die Körper, aus denen die Miſchung beſteht, heißen ihre Beſtandtheile. Jeder Körper, der chemiſche Beſtandtheile hat, heißt chemiſch zuſammengeſetzt.

40. Die chemiſche Verwandtſchaft bewirkt nicht bloß eine chemiſche Verbindung, ſondern oft auch eine Trennung der bereits chemiſch verbundenen Stoffe, alſo eine Zerlegung eines Körpers. Die verſchiedenen Stoffe ſind ſich nämlich in verſchiedenem Grade chemiſch verwandt, und äußern ihre größere oder kleinere Verwandtſchaft ſelbſt dann noch, wenn ſie bereits mit andern Körpern verbunden ſind. Kommt nämlich zu einem Körper AB, d. h. zu einem ſolchen, deſſen Beſtandtheile A und B ſind, ein Stoff C, welcher zu A eine größere Verwandtſchaft hat, als A zu B, ſo erfolgt eine Zerlegung von AB, und eine Vereinigung von A mit C, wodurch B frei wird. Weil C ſich den Stoff A gleichſam ausgewählt hat, ſo ſagt man, die Zerſetzung des Körpers AB ſey durch Wahlverwandtſchaft erfolgt, und zwar durch einfache, weil C dabei keine Zerſetzung erlitten hat. Wäre C, deſſen Beſtandtheile a und b heißen mögen, ſelbſt zerlegt worden, und a mit A, b hingegen mit B in Verbindung getreten, demnach aus den zwei Körpern AB und C zwei andere Aa und Bb entſtanden, ſo wäre eine doppelte Wahlverwandtſchaft thätig geweſen. Uebrigens erfolgt nicht jede Zerlegung der Körper durch Wahlverwandtſchaft, ſondern viele derſelben werden durch Licht, Wärme, Elektricität ꝛc. bewirkt; ja es gibt chemiſche Zerſetzungen, welche durch die bloße Gegenwart eines Stoffes bedingt ſind, ohne daß derſelbe eine chemiſche Verbindung eingeht. Berzelius (Jahresbericht. 15. 237) nennt die Kraft, welche dieſer Stoff hiebei ausübt, katalytiſche Kraft.

Wenn man in eine Auflöſung von Kupfervitriol, die aus Kupfer- und Schwefelſäure beſteht, ein Eiſenſtängelchen taucht, ſo läßt die Schwefelſäure das Kupfer fahren und verbindet ſich dafür mit dem Eiſen. Bringt man eine Auflöſung von chromſaurem Kali und eſſigſaurem Blei zuſammen, ſo werden beide zerſetzt, es bildet ſich chromſaures Blei und eſſigſaures Kali. Chlorſilber wird durch Sonnenlicht zerſetzt und das Silber ausgeſchieden; kohlenſaurer Kalk wird durch ſtarke Erhitzung in

Aetzkalk verwandelt; Waſſer kann durch Elektricität in ſeine Beſtandtheile zerlegt werden. Bringt man das ſogenannte Waſſerſtoffhyperoxyd mit einer Spur von Gold oder Silber in Berührung, ſo zerfällt es in Waſſer- und Sauerſtoff.

41. Die ungleichartigen Stoffe, welche man bei der Zerlegung eines Körpers zunächſt erhält, und aus denen er zunächſt beſteht, nennt man ſeine nächſten Beſtandtheile. Dieſe ſind oft ſelbſt wieder zuſammengeſetzt, und enthalten daher Theile, welche entfernte Beſtandtheile jenes Körpers genannt werden. So z. B. beſteht der Salpeter aus Kali und Salpeterſäure als ſeinen nächſten Beſtandtheilen; aber ſowohl das Kali als die Salpeterſäure ſind ſelbſt wieder zuſammengeſetzter Natur und ihre nächſten Beſtandtheile ſind daher die entfernteren des Salpeters. Es iſt klar, daß man beim Fortſchreiten von den näheren zu den entfernteren Beſtandtheilen endlich auf ſolche Körper kommen muß, die nicht mehr weiter aus chemiſch heterogenen Theilen beſtehen, und deßhalb chemiſch einfache oder Elemente genannt werden müſſen. Wiewohl an der Exiſtenz chemiſcher Elemente nicht zu zweifeln iſt, ſo iſt es doch unmöglich, mit vollkommener Sicherheit von einem Stoffe zu erweiſen, er ſey ein Element, und man hat für ſeine chemiſche Einfachheit ſelbſt im günſtigſten Falle nur eine große Wahrſcheinlichkeit. Wirklich iſt ſchon oft ein Stoff längere Zeit hindurch als chemiſch einfach angeſehen worden, und plötzlich hat ihn ein neu entdecktes Zerlegungsmittel in die Reihe der zuſammengeſetzten Körper zurückgewieſen. Darum bezeichnet man die Stoffe, welche man durch die jetzt bekannten Mittel nicht weiter zerlegen kann, mit dem Namen Grundſtoffe, und ſelbſt, wenn man ſie Elemente nennt, verſteht man darunter nicht abſolut unzerlegbare, ſondern bis jetzt unzerlegte Stoffe. Solche gibt es gegenwärtig 54. Sie folgen hier mit ihren in der Folge zu erklärenden Symbolen und Zahlen in einer ſolchen Ordnung, daß zwiſchen je zweien derſelben eine deſto größere chemiſche Differenz herrſcht, je weiter ſie von einander abſtehen. Bei der chemiſchen Verbindung zweier ſolchen Körper ſpielt der in dieſer Reihe vorgehende ſtets eine Rolle, die jener des nachfolgenden entgegengeſetzt iſt, und darum, ſo wie auch aus Gründen, die erſt in der Elektricitätslehre klar werden können, heißt jeder vorausgehende negativ gegen jeden nachfolgenden, der hinſichtlich des erſteren poſitiv heißt.

Grundſtoff.	Symbol.	Miſchungsgewicht.	Grundſtoff.	Symbol.	Miſchungsgewicht.
1. Sauerſtoff	O	100	9. Selen	Se	494.6
2. Chlor	Cl	221.3	10. Arſenik	As	470.0
3. Brom	Br	489.1	11. Molybdän	Mo	598.5
4. Jod	J	789.8	12. Vanadin	V	855.8
5. Schwefel	S	201.2	13. Chrom	Cr	351.8
6. Stickſtoff	N	88.5	14. Wolfram	W	1183.0
7. Fluor	F	116.9	15. Bor	B	136.2
8. Phosphor	P	196.1	16. Kohle	C	76.4

Grundſtoff.	Symbol.	Miſchungsgewicht.	Grundſtoff.	Symbol.	Miſchungsgewicht.
17. Antimon	Sb	806 4	36. Cadmium	Cd	696.8
18. Tellur	Te	801.8	37. Zink	Zn	403.2
19. Tantal	Ta	1153.7	38. Nickel	Ni	369.7
20. Titan	Ti	303.7	39. Kobalt	Co	369.0
21. Kieſel	Si	277.3	40. Eiſen	Fe	339.2
22. Waſſerſtoff	H	6.2	41. Mangan	Mn	345.9
23. Gold	Au	1243.0	42. Cer	Ce	574.8
24. Platin	Pt	1233.5	43. Thorium	Th	744.9
25. Rhodium	R	651.4	44. Zirconium	Zr	420.2
26. Palladium	Pd	665.8	45. Yttrium	Y	402.5
27. Iridium	Ir	1233.5	46. Beryllium	G	331.3
28. Osmium	Os	1244.5	47. Aluminium	Al	171.2
29. Silber	Ag	1351.6	48. Magneſium	Mg	158.4
30. Queckſilber	Hg	1265.8	49. Calcium	Ca	256.0
31. Kupfer	Cu	395.7	50. Strontium	Sr	547.3
32. Uran	U	2711.4	51. Barium	Ba	856.9
33. Wismuth	Bi	886.9	52. Lithium	L	80.4
34. Zinn	Sn	735.3	53. Natrium	Na	290.9
35. Blei	Pb	1294.5	54. Kalium	K	489.9

Unmittelbare Verbindungen dieſer Grundſtoffe unter ſich heißen Verbindungen der erſten Ordnung, Verbindungen dieſer Producte geben aber jene der zweiten, dritten, vierten Ordnung ꝛc.

42. Durch vielfaches Beobachten der bei chemiſchen Prozeſſen eintretenden Vorgänge hat man die Geſetze der chemiſchen Verwandtſchaft kennen gelernt. Es iſt auf dieſem Wege klar geworden, daß die Affinität bis zu den Atomen der Körper hinabreicht und ihre Verbindung oder Trennung vermittelt, während ſich die Anziehung, von welcher der Aggregationszuſtand abhängt (38), nur auf die Molekel und größeren Maſſentheile erſtreckt; man hat erkannt, daß die chemiſche Anziehung wohl, wie die Schwere, jedes materielle Theilchen afficire, aber nicht wie jene in wahrnehmbare Entfernung wirke, ſondern nur bei ſehr kleinen Diſtanzen, vielleicht gar nur bei unmittelbarer Berührung der betreffenden Stoffe in Thätigkeit trete. Aus dieſen Geſetzen ergeben ſich mehrere für die Anwendung wichtige Folgerungen: Die Anziehung zwiſchen den homogenen Theilen der Körper erſcheint als Feindinn der Affinität. Daher wirken feſte Körper in der Regel nicht chemiſch auf einander, ſondern es muß wenigſtens einer derſelben flüſſig ſeyn (corpora non agunt nisi fluida, ſagten die alten Chemiker), und man ſchmilzt darum entweder einen oder beide der Körper, die ſich chemiſch verbinden ſollen, oder löſet ſie im Waſſer auf. Darum erfolgt die chemiſche Wirkung eines flüſſigen Körpers auf einen feſten deſto leichter und ſtärker, je weniger die Theile des letzteren zuſammenhängen, wie dieſes an einer Silbermünze zu ſehen iſt, die von Scheidewaſſer an den erhabenen, weniger zuſammengepreßten Stellen leichter angegriffen wird, als an den vertieften, ſo daß man dadurch an abgegriffenen Münzen das Gepräge wieder ſicht-

bar machen kann. Darum begünſtiget Temperaturerhöhung, welche den Zuſammenhang der Theile vermindert, die Einwirkung der chemiſchen Kräfte, wenn ſie nicht ſo weit ſteigt, daß ſie einen Körper ausdehnſam macht und dadurch an der abſtoßenden Kraft der Theile einen neuen Gegner der Affinität erweckt. Daß ſich Sauerſtoff und Queckſilber bei der Siedhitze des letzteren nicht mit einander verbinden, während dieſe Verbindung bei geringerer Temperatur vor ſich geht, ſo wie, daß Sauerſtoffgas und Stickſtoffgas ungeachtet ihrer erwieſenen Affinität in der Atmoſphäre mit einander gemengt bleiben, ohne ſich chemiſch zu verbinden, hat hierin ſeinen Grund. Es iſt leicht einzuſehen, daß jede Vergrößerung der Berührungsflächen zwiſchen chemiſch verwandten Stoffen die Verbindung erleichtern und beſchleunigen muß. Daraus erklärt ſich die Wirkung des Zerkleinerns der Stoffe und des Umrührens. Vielleicht kommt es auch daher, daß ein Stoff am liebſten dann eine Verbindung eingeht, wenn er gerade aus einer anderen tritt, denn da befindet er ſich gewiß im Zuſtande der feinſten Vertheilung. Unerklärlich bleibt es aber bis jetzt, wie es kommt, daß oft zwei Stoffe nur durch einen dritten zur Verbindung disponirt werden, wie wir dieſes bei der atm. Luft ſehen, wo die Gegenwart eines Alkali die Verbindung des Sauerſtoffes mit Stickſtoff zur Salpeterſäure bedingt. Daß die chemiſche Anziehung nicht auf alle Körper gleich ſtark wirke, wie die Schwere, ſondern daß es Grade der chemiſchen Verwandtſchaft gebe, iſt ſchon früher (40) geſagt worden.

Die Verwandtſchaftsgrade der Körper zu einander lernt man durch Zerſetzung derſelben mittelſt Wahlverwandtſchaft kennen. So z. B. lehrt die Erfahrung, daß ſchwefelſaures Ammoniak durch Natrum, ſchwefelſaures Natrum durch Kali, ſchwefelſaures Kali durch Kalk, ſchwefelſaurer Kalk durch Strontian, zerſetzt wird, mithin daß die genannten Körper nach ihrer Verwandtſchaft zur Schwefelſäure ſo auf einander folgen: Ammoniak, Natrum, Kali, Kalk, Strontian. Doch darf man hierbei nicht vergeſſen, daß oft äußere Umſtände die Verwandtſchaftsgrade ſtark abändern, und entweder keine reinen oder gar keine Ausſcheidungen Statt finden, wo ſie den vorausgeſetzten Verwandtſchaftsgraden zu Folge eintreten ſollten. Solche Abweichungen werden oft durch den Umſtand erzeugt, daß ein Körper nicht bloß durch ſeine Verwandtſchaft, ſondern auch durch ſeine Maſſe wirkt, und daher das Reſultat ſeiner chemiſchen Wirkung von dem Producte dieſer beiden Größen (vom chemiſchen Momente) abhängt. Es kann darum ein Körper mit geringer Verwandtſchaft und großer Maſſe einen anderen, deſſen Verwandtſchaft größer, deſſen Maſſe aber viel kleiner iſt, aus ſeiner Verbindung vertreiben. Auf dieſe Weiſe vertreibt die Salpeterſäure die viel ſtärkere Schwefelſäure aus ihrer Verbindung mit Kali. Aehnliche Anomalien bewirkt ein hoher Grad von Flüchtigkeit eines Stoffes, oder die große Auflösbarkeit desſelben in dem Mittel, worin er ſich bildet, wohl auch die Temperatur. Deßhalb vertreibt die feuerfeſte Borſäure die viel ſtärkere aber flüchtige Salpeterſäure aus ihren Verbindungen bei einem hohen Hitzegrade; eben ſo zerſetzt die Weinſäure die Auflöſung von ſalpeterſaurer Kalkerde, und bildet die leicht im Waſſer lösliche, weinſaure Kalkerde, wiewohl die Salpeterſäure der Kalkerde näher verwandt iſt, als die Weinſäure. Wie ſehr die Temperatur die Verwandtſchaft modificire, zeigt das Ver-

halten des Sauerſtoffes zum Queckſilber, der ſich bei geringer Wärme leicht mit demſelben verbindet, bei höherer aber nicht.

43. Durch den bloßen Einfluß der chemiſchen Verwandtſchaft und ohne Mithülfe der Lebenskräfte verbinden ſich in der Regel nur einfache Stoffe mit einfachen, und zuſammengeſetzte nur unter ſich. Einige Stoffe verbinden ſich in allen möglichen Verhältniſſen mit einander, z. B. Weingeiſt und Waſſer; andere können ſich innerhalb gewiſſer Grenzen in allen denkbaren Verhältniſſen mit einander vereinigen, über dieſe Grenzen hinaus gehen ſie aber keine Verbindung ein. So z. B. nimmt Waſſer zwar nur eine beſtimmte Menge Kochſalz (nahe 37 p. c.) auf, aber unter dieſer Menge iſt in jedem Verhältniſſe eine Verbindung möglich. Wenn ein Körper von einem anderen ſo viel aufgenommen hat, als er vermag, heißt er geſättiget. Die Sättigungsmenge hängt nicht bloß von der Natur der Stoffe, ſondern auch von ihrer Temperatur ab. Haben zwei Körper durch gegenſeitige Vereinigung ihre charakteriſtiſchen Eigenſchaften eingebüßt, ſo heißen ſie neutraliſirt. Neutraliſirung iſt demnach von Sättigung weſentlich verſchieden, es kann ein Körper mit einem anderen geſättiget und doch nicht durch ihn neutraliſirt ſeyn, wie dieſes bei einer geſättigten Auflöſung von Kochſalz im Waſſer der Fall iſt, und in einem neutralen Gemiſche ſind die Beſtandtheile nicht immer geſättiget. Bei Verbindungen, die in allen möglichen Verhältniſſen vor ſich gehen, gibt es in der Regel keine Neutraliſirung.

44. Verbindungen, welche durch ſtarke Verwandtſchaften erzeugt ſind, enthalten die Beſtandtheile ſtets in beſtimmten Verhältniſſen. So z. B. verbinden ſich ſtets nur 100 Th. Schwefelſäure mit 71 Th. Kalk zu Gips; nimmt man mehr Schwefelſäure, ſo bildet ſich zwar auch Gips, aber es bleibt ein Theil Schwefelſäure frei zurück; nimmt man mehr Kalk, ſo erfolgt daſſelbe, aber es bleibt freier Kalk übrig. Zwiſchen vielen Körpern gibt es nur ein einziges Miſchungsverhältniß, bei manchen aber kennt man deren mehrere, und wo dieſes der Fall iſt, da ſind, für einerlei Menge des einen Beſtandtheils der Miſchung die höheren Quantitäten des andern Vielfache der geringſten Quantität. Verbinden ſich zwei Stoffe mit einander, die einen gemeinſchaftlichen Beſtandtheil enthalten, ſo geſchieht dieſes in einem ſolchen Verhältniſſe, daß die Menge des gemeinſchaftlichen Beſtandtheils in einem Körper ein Vielfaches von der Menge dieſes Beſtandtheiles im anderen Körper iſt. Die Miſchungsverhältniſſe ſind von der abſoluten Größe der ſich verbindenden Maſſen unabhängig, und müſſen demnach auch noch von den Atomen der Körper gelten. Iſt dieſes richtig, ſo müſſen ſich in den höheren Verbindungsſtufen 1, 2, 3, ꝛc. Atome des negativen Körpers mit 1 Atom des poſitiven verbinden.

Silicium und Sauerſtoff verbinden ſich in einem einzigen Verhältniſſe, Queckſilber und Sauerſtoff in zweien, und zwar vereinigen ſich 100 Th. Queckſilber mit 4 Th. und mit $8 = 2 \times 4$ Th. Sauerſtoff. Sauerſtoff und Stickſtoff verbinden ſich mit einander in fünf Verhältniſſen; es gibt nämlich ein Volum Stickgas mit $1/2$ Vol. Sauerſtoffgas Stickoxydul,

mit 1 Vol. Srſt. Stickoxyd, mit $1\frac{1}{2}$ Vol. Srſt. unterſalpetrige Säure, mit 2 Vol. Srſt. ſalpetrige Säure und mit $2\frac{1}{2}$ Vol. Srſt. Salpeterſäure. Es wachſen demnach die Sauerſtoffvol. von der niedrigſten bis zur höchſten Verbindung wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5. Verbindet ſich Schwefelſäure mit Eiſenoxydul zu einem neutralen Gemiſche, ſo braucht man zu 100 Th. des Produktes 53.29 Th. Schwefelſäure und 46.71 Th. Eiſenoxydul, und dieſe Menge Eiſenoxydul enthält 10.63 Th. Sauerſtoff, die dasſelbe neutraliſirende Schwefelſäure hingegen 31.89 Th., mithin gerade dreimal ſo viel. — Wenzel, ein deutſcher Chemiker, ſcheint ſchon (im Jahre 1777) auf die beſtimmten Verhältniſſe der ſich verbindenden Körper aufmerkſam gemacht und ſie durch Verſuche nachzuweiſen geſucht zu haben, allein Richter hat ſich zuerſt darüber beſtimmt ausgeſprochen und ſie aus des erſteren Verſuchen nachgewieſen, er fand aber bei ſeinen Zeitgenoſſen wenig Eingang, theils weil ſeine eigenen Verſuche wenig Genauigkeit beſaßen, theils aber, weil Lavoiſier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerkſamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anſpruch genommen hatte, und ſo blieb die Sache auf ſich ſelbſt beruhen, bis Prouſt die Verbindung der Metalle mit Sauerſtoff und Schwefel in beſtimmten Verhältniſſen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwiſchen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Luſſac die wichtige Entdeckung, daß ſich Gaſe ſtets in ſehr einfachen Raumverhältniſſen mit einander verbinden, und zwar immer 1 Volum des einen mit 1, 2, 3 ꝛc. Volumen des anderen, ein Verhalten, das ſchon früher Dalton gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemiſt Berzelius ſeine Aufmerkſamkeit auf dieſen Gegenſtand gerichtet, und ihn durch höchſt genaue und ſinnreiche Verſuche ſo feſt begründet, daß alle Zweifel darüber verſtummen mußten.

45. Die Zahlen, welche die Gewichtsmengen ausdrücken, nach welchen ſich Stoffe mit einander zu neutralen Producten verbinden, heißt man ihre Miſchungsgewichte, wohl auch ihre chemiſchen Aequivalente, ſtöchiometriſchen Zahlen oder Atomengewichte. Sie ſtehen mit der Stärke der chemiſchen Wirkſamkeit der Stoffe in Verbindung, indem ein Stoff für deſto kräftiger gelten muß, je kleiner dieſe ſeine Zahl iſt. Der chemiſch kräftigſte Stoff iſt der Waſſerſtoff, der ſchwächſte das Uranmetall. Die den chemiſchen Elementen (S. 29) beigeſetzten Zahlen geben dieſe Miſchungsgewichte an, in der Vorausſetzung, daß jenes des Sauerſtoffes die Einheit der chemiſchen Kraft vorſtellt, mithin durch 1, oder der Bequemlichkeit der Rechnung wegen durch 100 ausgedrückt wird. Nicht ſelten wird auch der Werth des Waſſerſtoffes als Einheit angenommen. Es iſt leicht die nach der einen dieſer Einheiten angegebenen Miſchungsgewichte der Stoffe, auf die der andern Einheit entſprechenden zu reduciren. Dieſen chemiſchen Werth behalten die Stoffe unter einander bei, ſie mögen was immer für eine Verbindung eingegangen ſeyn, und alle ihre ſonſtigen Eigenſchaften verloren haben, und es iſt demnach in Bezug auf dieſen Werth einerlei, ob ein Stoff iſolirt daſteht, oder mit einem anderen verbunden iſt. Daraus folgt, daß das Miſchungsgewicht eines chemiſch zuſammengeſetzten Körpers der Summe der Miſchungsgewichte ſeiner Beſtandtheile gleich iſt.

Die in der Tabelle (S. 29) enthaltenen Miſchungsgewichte laſſen erkennen, daß, wenn der Sauerſtoff in ſeinen Verbindungen mit anderen Stoffen mit 100, oder falls es höhere Verbindungsſtufen ſind, mit 200, 300 ꝛc. ausgedrückt wird, in allen Chlorverbindungen das Chlor nach der Gewichtsmenge von 221, der Schwefel im Gewichte von 201 und deſſen Vielfachen vorkommen müſſe. Es verbinden ſich demnach 100 Th. Sauerſtoff mit 221 Th. Chlor und mit 201 Th. Schwefel, ſo wie 221 Chlor mit 201 Schwefel, und das Miſchungsgewicht des ſo entſtandenen Chlorſauerſtoffes wird durch 100 + 221 = 321, jenes des Schwefelſauerſtoffes durch 301, die des Chlorſchwefels durch 422 ausgedrückt. Die oben (44) erwähnten zwei Verbindungen von Queckſilber und Sauerſtoff erhalten die Zahlen 2 × 1265.8 + 100 = 2631.6 und 1265.8 + 100 = 1365.8. Welchen großen practiſchen Werth demnach eine Tabelle der Miſchungsgewichte habe, iſt leicht einzuſehen.

46. Um die Beſtandtheile eines zuſammengeſetzten Stoffes und deren Verbindungsweiſe möglichſt kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemiſche Zeichenſprache eingeführt, nach welcher jeder einfache Stoff mit dem Anfangsbuchſtaben ſeines lateiniſchen Namens, und daher Sauerſtoff (Oxygenium) mit O, Phosphor mit P ꝛc., bezeichnet wird; nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden iſt, ſetzt man zu dieſem noch den nächſten charakteriſtiſchen Buchſtaben des Namens. Daher bedeutet Fe Eiſen (Ferrum), Sb Antimon (Stibium) um erſteres vom Fluor F, letzteres vom Schwefel S, vom Zinn Sn (Stannum), vom Kieſel Si (Silicium) ꝛc. zu unterſcheiden. Dieſe Zeichen bedeuten zugleich, wenn es ſich um quantitative Beſtimmungen der Beſtandtheile eines zuſammengeſetzten Stoffes handelt, Gewichtsmengen, welche den in der Tabelle (S. 29) angeführten Miſchungsgewichten proportionirt ſind. Zuſammengeſetzte Körper der erſten Ordnung werden durch unmittelbares Zuſammenſtellen der Zeichen ihrer Beſtandtheile angedeutet, wobei man, wenn in einer Verbindung von einem Beſtandtheile mehrere Atome vorkommen, ihre Anzahl durch einen Exponenten anzeigt. Bei Zuſammenſetzungen höherer Ordnungen werden die nächſten Beſtandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden, und dem Zeichen eines zuſammengeſetzten Beſtandtheiles, wovon mehr als ein Atom in die Verbindung eingeht, ein Coefficient, der die Anzahl der Atome angibt, vorgeſetzt. So bedeutet KO Kaliumoxyd, d. i. eine Verbindung von 1 Atom Kali mit 1 Atom Sauerſtoff, H^2O Waſſer, d. i. eine Verbindung von 2 Atomen Waſſerſtoff mit 1 Atom Sauerſtoff, SO^3 Schwefelſäure (waſſerfreie), d. i. die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerſtoff; dagegen zeigt $SO^3 + H^2O$ engliſche Schwefelſäure an, welche aus 1 Atom Schwefelſäure und 1 Atom Waſſer beſteht, $CaO + SO^3 + 2\,H^2O$ kryſtalliſirten Gips, d. i. 1 Atom ſchwefelſauren Kalk mit 2 At. Waſſer verbunden.

Um die Länge der Formeln, vornehmlich jener für Zuſammenſetzungen höherer Ordnungen zu vermindern, bezeichnet Berzelius die Sauerſtoff-Atome ihres häufigen Vorkommens wegen durch Punkte, die Schwefel-Atome durch Accente, welche über das Zeichen des einfachen Stoffes, mit welchem der Sauerſtoff oder Schwefel verbunden iſt, geſetzt werden; ferner Doppel-Atome eines einfachen Stoffes, indem er durch

den Anfangsbuchſtaben desſelben einen Querſtrich führt. Organiſche Säuren deutet er durch den Anfangsbuchſtaben ihres lateiniſchen Namens mit einem darüber geſetzten Querſtriche an. So bedeutet nach dieſer kürzeren Bezeichnung $\dot{K}$ Kaliumoxyd, $\dot{H}$ Waſſer, $\dddot{S}$ Schwefelſäure (waſſerfreie), $\dddot{S}\dot{H}$ engliſche Schwefelſäure, $\bar{A}$ Eſſigſäure (Acidum aceticum) u. ſ. w. Um in einem Beiſpiele zu zeigen, wie derlei Formeln die Gewichtsmengen der Beſtandtheile eines zuſammengeſetzten Stoffes angeben, betrachten wir die Formel für das Waſſer H^2O. Setzt man hier der Tabelle (S. 29) gemäß $H = 6.2$ und $O = 100$, ſo wird $H^2O = 12.4 + 100 = 112.4$. Es enthalten daher 112.4 Gewichtstheile Waſſer 12.4 Theile Waſſerſtoff und 100 Sauerſtoff; mithin ſind in 100 Theilen Waſſer 11 Theile Waſſerſtoff und 89 Theile Sauerſtoff vorhanden.

47. Zu Verſuchen über das chemiſche Verhalten der Körper und ihre Zuſammenſetzung und Zerlegung, braucht man mancherlei Geräthe und Werkzeuge, deren Inbegriff den chemiſchen Hausrath ausmacht. Zu dieſen gehören die Oefen, in denen Kohlenfeuer, ſehr häufig auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen) oder durch künſtlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläſeöfen) unterhalten wird, die nicht ſelten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) verſehen ſind, und in welchen die Körper, welche man der Hitze ausſetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwiſchen die Kohlen oder oberhalb derſelben in ein eigenes Gefäß (Capelle) geſtellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper und das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Waſſer (Waſſer- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig ſind Gefäße von allerlei Formen und aus verſchiedenem Materiale, wie z. B. gläſerne, thönerne, porzellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorſtöße, Woulfeſche Flaſchen im Einzelnen oder zu einem Woulfeſchen Apparate verbunden, Abrauchſchalen, Filtrirgefäße nebſt paſſenden Filtrirtrichtern, Gasentbindungsflaſchen, eine pneumatiſche Waſſer- und Queckſilberwanne, oder ſtatt deren auch Pepy's Gasbehälter, mit den nöthigen Recipienten ꝛc. Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, ſo braucht man doch nicht ſo viele Apparate. Insbeſondere bedient man ſich heut zu Tage bei chemiſchen Arbeiten faſt durchgehends kleinerer Körpermengen, als es früher gebräuchlich war, und erzielt doch genauere Reſultate. (Döbereiner, zur mikrochemiſchen Experimentirkunſt. Jena 1821. *Chemical manipulation by M. Faraday. London* 1829.)

48. Den Sauerſtoff kennt man im freien Zuſtande nur als Gas. Man erhält das Sauerſtoffgas durch Zerſetzung mehrerer ſauerſtoffhaltigen Körper, wie z. B. des ſchwarzen Braunſteines, des rothen Queckſilberoxydes, des chlorſauren Kali's ꝛc. mittelſt Hitze. Das Sauerſtoffgas iſt geſchmack- und geruchlos und nicht ſichtbar, es wird vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgenommen; es unterhält

das Athmen und Brennen viel beſſer als atmoſphäriſche Luft, ſo zwar, daß ein Thier in einer Portion Sauerſtoffgas 5—6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atm. Luft, und daß Körper, die in der atm. Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerſtoffgaſe mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieſes Gas auch *Lebensluft* oder *Feuerluft*. — Der Sauerſtoff verbindet ſich faſt mit allen Körpern, beſonders den chemiſch einfachen, und erzeugt mit ihnen *Oxyde* im weiteſten Sinne des Wortes. Den Act der Bildung dieſer Verbindung nennt man *Oxydation*. Gibt es von demſelben Stoffe mehrere Oxyde, ſo heißt die erſte Verbindungsſtufe Protoxyd, die zweite Deutoxyd ꝛc., die höchſte Peroxyd. Manchmal wird ein Oxyd auch *Oxydul* oder *Suboxyd*, ein anderes *Hyperoxyd* genannt, wovon in der Folge mehr.

Am leichteſten und ſehr rein erhält man das Sauerſtoffgas aus dem chlorſauren Kali $KO + Cl^2O^5$, welches in einer kleinen gläſernen Retorte mit pneumatiſcher Vorlage mittelſt einer Weingeiſtlampe über den Schmelzpunkt erhitzt, ſich ſo zerſetzt, daß in der Retorte KCl^2 zurückbleibt und 6 At. O ausgeſchieden werden. Demnach liefert dieſes Salz 39 Procente ſeines Gewichtes Sauerſtoff, alſo 1 Loth davon 260 Kubikzoll oder nahe $3^1/_3$ Maß Sauerſtoffgas. Das rothe Queckſilberoxyd HgO zerfällt, in einer kleinen Glasretorte mittelſt einer Weingeiſtlampe mit doppeltem Luftzuge ſtark erhitzt, in Queckſilber, welches man in einem vorgelegten Ballon auffängt, und in Sauerſtoff, der in die pneumatiſche Vorlage übergeht. Reiner Braunſtein iſt Manganhyperoxyd MnO^2, er gibt bei gelindem Glühen 9, bei heftigem Glühen 12, mit Schwefelſäure übergoſſen und mäßig erhitzt 18 Procente ſeines Gewichtes Sauerſtoff ab, und verwandelt ſich im erſten Falle in Manganoxyd, im zweiten in Oxyduloxyd, im dritten in Oxydul, welches letztere ſich in der Schwefelſäure auflöſt. Man braucht das Sauerſtoffgas zu Reſpirationsapparaten, zur Belebung erſtickter Scheintodter, zum Verbrennen ſchwerbrennbarer Stoffe ꝛc. Es hat ſeinen Namen daher, daß es in gewiſſen Fällen ſauer ſchmeckende Subſtanzen bildet.

49. Auch freien *Waſſerſtoff* kennt man nur im gasförmigen Zuſtande; er wird durch Zerſetzung des Waſſers (Waſſerſtoffoxydes) erhalten. Das Waſſerſtoffgas iſt farb- und geſchmacklos, im reinen Zuſtande auch geruchlos; es iſt die leichteſte aller Gasarten, wird vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgenommen, iſt weder zum Athmen, noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet, brennt aber in Berührung mit Sauerſtoffgas ſelbſt. Miſcht man zwei Volume Waſſerſtoffgas mit einem Volum Sauerſtoffgas und zündet das Gemenge an, ſo verbrennt die geſammte Maſſe des Waſſerſtoffes auf einmal mit einem heftigen Knall, und iſt im Stande dabei ſelbſt ſtarke Gefäße zu zerreißen.

Leitet man Waſſerdämpfe durch ein glühendes eiſernes Rohr, ſo wird dem Waſſer der Sauerſtoff entriſſen, und der Waſſerſtoff wird frei. Am leichteſten erhält man jedoch Waſſerſtoffgas, wenn man verkleinertes Eiſen oder Zink mit Schwefelſäure, der man Waſſer zugeſetzt, in Berührung bringt. Die Verwandtſchaft der Schwefelſäure zum Eiſen- oder Zinkoxyde nöthiget das Waſſer, ſeinen Sauerſtoff an genanntes Metall abzutreten, wodurch der Waſſerſtoff in Freiheit geſetzt wird.

Die fremdartigen Beſtandtheile, mit welchen das auf dieſe Weiſe bereitete Waſſerſtoffgas wegen Unreinheit des Eiſens oder Zinkes verunreiniget, und denen der Geruch desſelben zuzuſchreiben iſt, ſchafft man weg, indem man es durch paſſende Subſtanzen leitet, z. B. durch Queckſilberſublimatlöſung wegen eines etwa darin befindlichen Antheils von Arſenik, durch Kalihydrat wegen des Schwefels, durch Weingeiſt wegen des aus Kohle und Waſſerſtoff ſich bildenden flüchtigen Oehles. Man kann das Waſſerſtoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Illuminationen und zu Zündmaſchinen ꝛc. benützen.

50. Den **Stickſtoff** kennt man, ſo wie den Sauerſtoff und Waſſerſtoff, nur als Gas. Es beſitzt faſt nur negative Eigenſchaften, hat keine Farbe, keinen Geſchmack, keinen Geruch, wird vom Waſſer faſt gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen.

Man erhält dieſes Gas, wenn man durch irgend ein dem Sauerſtoffe ſtark verwandtes Mittel, z. B. durch brennenden Phosphor der atmoſphäriſchen Luft (die ein Gemenge von Sauerſtoff- und Stickgas iſt) den Sauerſtoff entreißt. Sehr leicht bereitet man das Stickgas nach **Soubeiran**, wenn man ein Gemenge von 2 Theilen Salpeter und einem Theile Salmiak in einer kleinen Retorte erhitzt, und das ſich entwickelnde Gas zur Reinigung durch eine Aetzkalilöſung leitet. Hier zerlegen ſich der Salpeter $KO + N^2O^5$, und der Salmiak $N^2H^8Cl^2$ gegenſeitig; es verbindet ſich der Sauerſtoff und das Kalium des erſteren mit dem Waſſerſtoffe und dem Chlor des letztern zu Waſſer und Chlorkalium, und der Stickſtoff beider wird mit etwas Chlor, Salzſäure und ſalpetrigſaurem Gas verunreinigt, ausgeſchieden.

51. Mengt man 21 Volume Sauerſtoffgas mit 79 Vol. Stickgas, ſo erhält man Luft, wie ſie in der Atmoſphäre in deren reinſtem Zuſtande vorhanden iſt. Daß die **atmoſphäriſche Luft** wirklich aus Sauerſtoffgas und Stickgas beſtehe, kann man durch Verſuche beweiſen. Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit dieſer Luft gefüllte Glocke, ſo ſtirbt das Thier und es verliſcht die Kerze nach einiger Zeit, und zwar nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt iſt. Unterſucht man den Reſt derſelben, nachdem man ihn vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entſtandenen fremdartigen Beimiſchung durch eine Auflöſung von Aetzkali geleitet hat, ſo findet man ihn aus lauter Stickgas beſtehend. Es enthält demnach die atm. Luft Stickgas, und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil. Gibt man eine genau abgewogene Quantität Queckſilber in eine Retorte, die mit einem, atm. Luft enthaltenden, durch Waſſer geſperrten Recipienten in Verbindung ſteht, erhitzt das Queckſilber und erhält es einige Zeit bei einer ſeiner Siedhitze nahe kommenden Temperatur; ſo bemerkt man, daß ſich die Luft im Recipienten vermindert, und daß zugleich das Queckſilber in rothes Queckſilberoxyd übergeht. Dieſes wiegt mehr als das Queckſilber, woraus es entſtanden iſt, und zwar genau um ſo viel, als das Gewicht der verſchwundenen Luft beträgt. Hat man nicht zu wenig Queckſilber angewendet, ſo charakteriſirt ſich die übrig gebliebene Luft als Stickgas. Das aus dem rothen Queckſilberoxyde

auf die oben (48) beſchriebene Weiſe erhaltene Sauerſtoffgas, gibt mit dem Stickgaſe gemengt, atm. Luft wieder, gerade ſo wie man ſie urſprünglich zum Verſuche gebraucht hat.

52. Das in der atm. Luft vorhandene Verhältniß zwiſchen Sauerſtoffgas und Stickgas wird durch beſondere (eudiometriſche) Verſuche ausgemittelt, deren Weſentliches darin beſteht, daß man ein gemeſſenes Volum atm. Luft durch eine beſondere Subſtanz, z. B. durch Stickſtoffoxyd, Schwefelleber, Waſſerſtoff, Phosphor ꝛc. des Sauerſtoffes beraubt und dann entweder das Volum des zurückgebliebenen Stickgaſes mißt, es von jenem der unterſuchten Luft abzieht und ſo den Sauerſtoffgehalt indirect ſucht, oder beſſer, indem man dieſen Gehalt aus der Gewichtsvermehrung des Körpers, der den Sauerſtoff aufgenommen hat, direct ableitet. Zur indirecten eudiometriſchen Unterſuchung braucht man am beſten Waſſerſtoffgas, und wendet am zweckmäßigſten Ure's oder Döbereiner's Eudiometer an; zur directen Unterſuchung empfiehlt Brunner Phosphor, und bedient ſich dazu eines beſondern, wie es ſcheint, ſehr zweckmäßigen Apparates.

Ure's Eudiometer beſteht aus einer 3—4 Linien weiten Glasröhre, die in zwei einander parallele 8—9 Zoll lange Schenkel gebogen, an einem Ende zugeſchmolzen und am geſchloſſenen Schenkel in gleiche Volumentheile getheilt iſt. Nahe am Ende dieſes Schenkels ſind 2 einander gegenüberſtehende Platindrähte eingeſchmolzen, deren Enden im Inneren der Röhre etwa 1/2 Linie von einander abſtehen. Dieſe Röhre wird zum Behufe eines eudiometriſchen Verſuches mit Queckſilber gefüllt, und dann in den geſchloſſenen Schenkel zwei Raumtheile atmoſphäriſche Luft, und ein Rth. Waſſerſtoffgas eingelaſſen. Hierauf macht man den Queckſilberſtand bei aufrechter Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich, ſchließt den offenen, nicht ganz mit Queckſilber gefüllten Schenkel mit dem Finger, und läßt mittelſt der Platindrähte einen elektriſchen Funken durch das eingefüllte Gas ſchlagen. Die unter dem Finger befindliche Luft dient ihrer Zuſammendrückbarkeit wegen dazu, den Impuls des in dem andern Schenkel explodirenden Gasgemenges auf das Queckſilber zu mäßigen, und leiſtet dabei ſo viel Widerſtand, daß von dem abgeſchloſſenen Gasrückſtande nichts entweichen kann. Sobald das Luftvolum ſich verringert hat, ſchüttet man durch den offenen Schenkel Queckſilber zu, um den Stand desſelben wieder in beiden Schenkeln gleich zu erhalten, und mißt dann das Luftvolum, um auf die erlittene Verminderung ſchließen zu können. Ein Drittel derſelben gibt den Gehalt an Sauerſtoffgas an. Volta's Eudiometer iſt ſelbſt mit der von Pepys und Gay-Luſſac angebrachten Verbeſſerung noch complicirter als dieſer Apparat. (Ure's Handwörterbuch der praktiſchen Chemie. Weimar 1825. S. 482). Döbereiner füllt die atm. Luft und das Waſſerſtoffgas in eine einerſeits geſchloſſene graduirte Glasröhre ein, und bewirkt die Verbrennung durch ein auf ſehr ſinnreiche Weiſe eingeführtes Kügelchen Platinſchwamm. (Deſſen Beiträge zur phyſ. Chemie. Hft 2, S. 52). Brunner's eudiometriſcher Apparat beſteht aus einer Glasröhre a b (Fig. 5), welche an beiden Enden in ein enges Röhrchen ausgezogen iſt, in einer Länge von etwa 7 Zoll trockene Baumwolle, und weiter gegen a aber 12 — 13 Gran trocknen und an die Röhrenwand angeſchmolzenen Phosphor enthält, ferner aus einem Gefäße A, das durch eine Cautſchukröhre mit b verbunden iſt, unten einen Sperrhahn hat, beim Verſuche mit Queckſilber oder Olivenöhl gefüllt wird, und die Beſtimmung hat, in dem Maße, als

man dieſe Flüſſigkeit durch den Hahn abfließen läßt, durch die Röhre ab Luft einzuſaugen, endlich aus dem Gefäße B, womit man das Volum der ausgefloſſenen Flüſſigkeit, und hierdurch zugleich jenes der durch ab eingeſaugten Luft mißt. Durch einen vorläufigen Verſuch wird die in ab enthaltene Luft durch einen Theil des Phosphors und der von der Baumwolle eingeſaugten phosphorigen Säure alles Sauerſtoffes beraubt, hierauf die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſo aufbewahrt. Will man ein eudiometriſches Experiment machen, ſo wiegt man die Röhre ſammt ihrem Inhalt genau, bricht dann die Spitzen ab und legt ſie zur Seite, verbindet ab mit dem Gefäße A, das bereits mit Oehl oder Queckſilber gefüllt iſt, ſtellt das Meßgefäß B unter, erhitzt den Phosphor, öffnet dann den Hahn und läßt die Flüſſigkeit aus A nach B abfließen. Damit in a nur trockene Luft eingeſaugt werde, ſetzt man daſelbſt ein mit Chlorcalcium verſehenes offenes Rohr an, durch welches die Luft zum Phosphor gelangt. Sobald die Flaſche B mit der abfließenden Maſſe gefüllt iſt, wird der Hahn geſchloſſen, die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſammt den vorher abgeſchnittenen Spitzen wieder gewogen. Die Gewichtszunahme gibt das Gewicht des Sauerſtoffes an, den das durch ab geleitete, der in B geſammelten Flüſſigkeit an Volum gleiche Luftquantum enthielt. Es ſcheint, als könnte man nach dieſer Methode den Sauerſtoffgehalt bis auf 0.1 pCt. genau beſtimmen, während dieſes das Waſſerſtoffgas-Eudiometer kaum bis auf 0.5 pCt. zu thun geſtattet. Brunner in Pogg. Ann. 27. 1; 31. 1; 38. 264. Roſe's analytiſche Chemie. Berlin 1838. Bd. 2. 671.

53. Eudiometriſche Verſuche haben gelehrt, daß in 100 Rth. atm. Luft 21 Rth. Sauerſtoffgas und 79 Rth. Stickgas enthalten ſeyen, man mag die Luft zu was immer für einer Jahres- oder Tageszeit, am feſten Lande oder am Meere, nahe am Boden oder in großen Höhen, im Freien oder an Orten, die von Menſchen längere Zeit gedrängt voll waren, genommen haben. Die fremdartigen Beimiſchungen, welche wir oft durch den Geruch erkennen oder die auf unſere Geſundheit ſchädlich einwirken, laſſen ſich nicht nachweiſen, wiewohl an ihrem Daſeyn nicht zu zweifeln iſt.

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Marti die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verſchiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kaſan, Davy die Luft in England und Guinea, Gay-Luſſac die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, Vogel die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geſchöpfte, Hermbſtädt die an der Oſtſee, Configliachi die über bewäſſerten Reisfeldern, Séguin die Luft in einem vollen Theater, Ed. Davy in einem Hoſpitale; allein überall fand man ſie von gleichem Gehalte an Sauerſtoff und Stickſtoff.

54. Chlor läßt ſich im reinen Zuſtande als Gas und als tropfbare Flüſſigkeit darſtellen. Man erhält es aus Kochſalz oder aus Salzſäure durch gehörige Behandlung. Das Gas hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, iſt zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, ſondern höchſt ſchädlich, und verurſacht Huſten, Schnupfen, Bruſtbeklemmungen, ja ſogar den Tod, brennt nicht, geſtattet aber anderen Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Spießglanz, entzünden ſich darin

von ſelbſt; es zerſtört alle organiſchen Körper, mit Ausnahme der Kohle, entfärbt ſie aber anfangs, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei anſteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch ſtarke Compreſſion wird es tropfbar dargeſtellt, und da bildet es eine ſehr bewegliche, dunkel grünlichgelbe Flüſſigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Wäſſer, ſo wird es von demſelben abſorbirt, und das Waſſer bekommt dann alle Eigenſchaften des Gaſes; es iſt grünlichgelb, riecht nach dem Gaſe, läßt dieſes auch beim Erwärmen entweichen, und wird durch das Licht zerſetzt; läßt man vom Waſſer viel Chlorgas abſorbiren, ſo ſetzen ſich darin gelbliche Kryſtalle ab, die Chlor in Verbindung mit Waſſer ſind. Sie ſind ſehr flüchtig und laſſen ſich ſublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Waſſer zerſetzt.

Um Chlorgas zu bereiten, übergießt man ein Gemenge von 2 Th. ſchwarzen Braunſtein und 3 Th. Kochſalz mit 2½ Th. Schwefelſäure, die man mit 4 Th. Waſſer verdünnt hat, und ſetzt das Ganze einer geringen Hitze aus. Kommen nämlich Kochſalz NCl^2, Braunſtein MnO^2 und Schwefelſäure SO^3 zuſammen, ſo wird das Natrium des Kochſalzes auf Koſten des Braunſteins oxydirt und in Natron NO verwandelt, um ſich in der Schwefelſäure aufzulöſen, welche gleichfalls das Manganoxydul angreift. Das frei gewordene Chlor geht in Gasgeſtalt davon. Mit gleichem Erfolge kann man auch Salzſäure HCl und Braunſtein anwenden. Hier verbindet ſich der Waſſerſtoff der Salzſäure mit dem Sauerſtoffe des Braunſteins zu Waſſer, und eine Hälfte des Chlors der Salzſäure mit dem Mangan, während die andere Hälfte des Chlors frei wird. Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel iſt ſehr wichtig. Man braucht heut zu Tage ſelten mehr dazu das Gas oder das Chlorwaſſer, ſondern meiſtens Chlorkalk, Chlorkali oder Chlornatrum. Zum Behufe der Luftreinigung wird ein ſolcher Körper in einer flachen Schale mit Waſſer übergoſſen und in der Luft ſtehen gelaſſen; zur Reinigung von Kleidern, Betten werden dieſelben mit einer ſolchen Flüſſigkeit gewaſchen; Briefe werden durchſtochen und mit Chlorgas geräuchert.

55. Das **Brom** wurde im Jahre 1826 von **Balard** zuerſt im Waſſer aus dem mittelländiſchen Meere, nachdem das Kochſalz herauskryſtalliſirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Waſſer des todten Meeres und aus vielen Salzſoolen und Mineralquellen ausgeſchieden. Es erſcheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüſſigkeit von äußerſt unangenehmen Geruche (daher ſein Name von *βρωμος*, Geſtank), verdünſtet ſtark in der Luft, ſiedet ſchon bei 47° C., und friert erſt bei — 18°, wo es dann als bleigraue, ſpröde, metallglänzende Maſſe erſcheint, iſt im Waſſer, Alkohol und Aether, wohl auch im Baumöhl löslich, ſinkt aber in der Schwefelſäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb, und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor.

56. Das **Jod** (von *ιοειδης*, Veilchenblau) wurde zuerſt 1812 von **Courtois** in der Mutterlauge des Seetanges, ſpäter aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfſchwamm, ſelbſt in Mineralien und in

Quellen (Hall in Oberöſterreich) gefunden. Es iſt eine feſte, dunkelgraue, faſt wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Subſtanz, welche die Haut vorübergehend ſchmutzig gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geſchmack hat, ſtark auf den Organismus wirkt, ſich ſchwer im Waſſer, aber leicht im Weingeiſte auflöſet. Durch Wärme läßt es ſich in ein ſchön violettes Gas verwandeln.

57. Der Schwefel iſt ein blaßgelber, undurchſichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, ſchwach ſchmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erſtickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verſchloſſenen Gefäßen über 111° C. erhitzt, ſo wird er weich und ſchmilzt endlich zu einer gelben, durchſichtigen öhlartigen Flüſſigkeit, die bei 160° anfängt, braun und dickflüſſig zu werden, und in Waſſer gegoſſen, lange weich bleibt. Bei 316° ſiedet er und gibt einen pomeranzengelben Dampf, der ſich an kältere Körper in feſter Form (Schwefelblumen) anlegt. Der Schwefel iſt im Waſſer gar nicht, im Weingeiſt nur wenig auflöslich; mittelſt Wärme bildet er mit Oehlen die ſogenannten Schwefelbalſame. Er kommt in der Natur gediegen, ſelbſt kryſtalliſirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in vielen organiſchen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle.

58. Selen iſt ein ſpröder, in Maſſe bleigrauer, metalliſch glänzender, gepulvert aber dunkelrother, durchſcheinender, im Waſſer unlöslicher Körper, der bei 100° weich, in höherer Temperatur gar flüſſig wird, und ſich beim Erkalten in Fäden ziehen läßt. Es ſiedet vor dem Glühen, und gibt dabei einen gelben Dampf, läßt ſich entzünden und verbrennt mit Rettiggeruch und röthlichblauer Flamme. Man erhält das Selen aus dem röthlichen Schlamme, der ſich beim Verbrennen des Schwefels abſetzt, und auch aus einem beſondern Mineral, dem Selenblei. Berzelius hat es im Jahre 1817 entdeckt.

59. Der Phosphor iſt ein wachsgelber, bei niederer Temperatur ſpröder, bei etwas hoher biegſamer, fettig glänzender Körper. Er leuchtet im Dunkeln, ſchmilzt und entzündet ſich ſehr leicht, darum er beſtändig unter Waſſer aufbewahrt werden muß; er löſet ſich im Weingeiſte ſchwer, in ätheriſchen Oehlen leicht auf, und gibt dann eine nicht ſo leicht brennbare, aber doch leuchtende Maſſe, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet ſich in allen drei Naturreichen, beſonders aber in thieriſchen Knochen, aus denen er auch meiſtens gewonnen wird.

60. Fluor iſt ein Stoff, der bisher nur von Davy in ſehr geringer Menge für ſich dargeſtellt wurde. Er erſcheint als braune Subſtanz, und iſt der einzige Körper, von dem man keine Sauerſtoffverbindung mit völliger Beſtimmtheit kennt.

61. Bor wird durch Zerſetzung der Borſäure mittelſt Kalium erhalten, und ſtellt ein undurchſichtiges, dunkelgrünes, ſtark abfärbendes, geruch- und geſchmackloſes Pulver vor, das ſich, friſch bereitet und bevor es geglüht wird, im Waſſer auflöſet und in der Luft bei

der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkenſprühen verbrennt.

62. Kieſel wird aus kieſelflußſaurem Natrum mittelſt Kalium erhalten. Es iſt ein feſter, glanzloſer, dunkelbrauner, ſtark ſchmutzender, unſchmelzbarer Körper, der viel Aehnlichkeit mit Bor hat, und ſich zu ihm wie Selen zu Schwefel, oder wie Chlor zu Jod verhält. Kieſel bleibt im Sauerſtoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden iſt, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden, wo es die Kieſelſäure gibt; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunſt; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern, aber mit kohlenſaurem Kali vermengt, und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungen ein, und liefert Producte, worunter das merkwürdigſte die Kieſelſäure iſt, die man einſt unter die Erden zählte und Kieſelerde nannte.

63. Kohle (Kohlenſtoff) iſt ein brennbarer, geſchmack- und geruchloſer, unſchmelzbarer Stoff, der ſich weder im Waſſer, noch im Weingeiſte oder in Oehlen auflöſet, und ſelbſt den ſtärkſten Säuren widerſteht; er kommt am reinſten als Diamant vor, in der Pflanzen- und Thierkohle, iſt er mit mehreren anderen Körpern, beſonders in jener mit Waſſerſtoff, in dieſer mit Stickſtoff verbunden. Er iſt ein Beſtandtheil aller organiſchen Körper, kommt aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende ꝛc. reichlich vor. Nach Colquhoun ſetzt er ſich bei der Stahlbereitung Macintoſh's aus ſeiner Verbindung mit Waſſerſtoff in Geſtalt feiner, metalliſch glänzender Haare ab.

64. Die bisher betrachteten Elemente heißen gemeiniglich nicht metalliſche, alle übrigen (41) hingegen metalliſche. Es hat zwar jedes der letzteren, ſo gut wie die bereits beſprochenen, einen eigenthümlichen Charakter, aber alle zuſammen haben auch ſo viel Gemeinſchaftliches, die metalliſche Natur überhaupt charakteriſirendes, daß es für unſeren Zweck genügt, nur dieſe allgemeine Charakteriſtik hier kurz zu entwerfen. Die Metalle unterſcheiden ſich von anderen Grundſtoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Geſchmack- und Geruchloſigkeit, Undurchſichtigkeit und Unauflöslichkeit im Waſſer. Sie heißen im reinen Zuſtande Metallkönige oder reguliniſche Metalle. Wenige derſelben kommen in der Natur in dieſem Zuſtande vor, die meiſten finden ſich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt in Verbindung mit anderen Metallen, oder oxydirt. Mehrere Metalle ſind hämmerbar und ſtreckbar, ſie laſſen ſich zu Platten walzen, zu Draht ziehen ꝛc., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Kupfer; andere ſind ſpröde, wie Spießglanz, Wismuth; deßhalb theilte man ſie einſt in ganze (ſtreckbare) und in Halbmetalle ein, ungeachtet ſich zwiſchen beiden keine feſte Grenze angeben läßt, und dasſelbe Metall durch bloß mechaniſche Behandlung dehnbar oder ſpröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die

andere Claſſe gehören müßte. Alle Metalle ſind ſchmelzbar, jedoch fordert jedes Metall einen eigenen Hitzegrad zum Schmelzen. So iſt das Queckſilber ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüſſig, Kalium und Natrium ſind bei derſelben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth ſchmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das ſtärkſte Feuer Eiſen, Uran, Titan, Platin zu ſchmelzen vermag. Kalium, Natrium, Eiſen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geſchweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige werden noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden. Queckſilber, Zink, Arſenik verflüchtigen ſich leicht, Gold, Platin erſt bei der größten Hitze. Beim Erkalten kryſtalliſiren alle Metalle unter günſtigen Umſtänden. Bei den ſpröden läßt ſich das Kryſtallgefüge am leichteſten erkennen. Die meiſten Metalle laſſen ſich mit einander verbinden und geben Gemiſche, die man Legirungen, oder wenn Queckſilber einen Beſtandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Dieſe Gemiſche ſind meiſtens härter, elaſtiſcher und minder dehnbar, als die Beſtandmetalle, wie man es am Meſſing, Glockengut ꝛc. ſieht; ſie ſind leichter ſchmelzbar, bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe und kryſtalliſiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen ſchon zuſammen, wenn nur eines davon flüſſig iſt. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Verſilbern ꝛc. — Die Metalle verbinden ſich mit Sauerſtoff, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Selen, Kieſel, Fluor, Bor und Kohle. Durch Sauerſtoff verlieren ſie ihren Metallglanz, ihre Conſiſtenz und werden nicht ſelten im Waſſer auflöslich. Einige oxydiren ſich ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme und entreißen den Sauerſtoff ſogar dem Waſſer, wie z. B. Kalium; andere aber müſſen erhitzt werden, um den Sauerſtoff aufzunehmen, wie z. B. Queckſilber; andere nehmen ihn aber ſelbſt in der größten Hitze nicht auf, und können daher nur durch Sauerſtoffſäuren oxydirt werden, wie Gold, Platin. Hierauf beruht die alte Eintheilung der Metalle in edle und unedle. Einige Metalle oxydiren ſich durch und durch, wie Eiſen; andere überziehen ſich nur an der Oberfläche mit Oxyd, werden aber im Innern durch die äußere Rinde vor der ferneren Oxydation geſchützt, wie Kupfer, Bronze.

65. Aus den hier angeführten Grundſtoffen beſtehen alle Körper, ſowohl die organiſchen als die unorganiſchen. Man kann nicht jeden Stoff, der ſich in ſeine Beſtandtheile zerlegen läßt, wieder aus denſelben zuſammenſetzen. Dieſes gilt namentlich von den meiſten, die unter dem Einfluſſe der Lebensthätigkeit gebildet werden, und man kann kein Blut, kein Fleiſch, keine Pflanzenfaſer auf chemiſchem Wege erzeugen, ungeachtet man die Grundſtoffe, aus denen dieſe Körper beſtehen, nicht bloß der Qualität, ſondern auch der Quantität nach ziemlich genau kennt.

66. Die chemiſch zuſammengeſetzten Körper laſſen ſich wahrſcheinlich, wie die einfachen, in eine Reihe zuſammenſtellen, in der ſie nach Maßgabe ihrer chemiſchen Differenz auf einander folgen, und jeder in

dieſer Reihe vorangehende kann gegen einen nachfolgenden als negativ, der folgende ſelbſt aber als poſitiv angeſehen werden; doch kann man dieſe Reihe noch nicht darſtellen, theils wegen der bei der großen Anzahl der Körper obwaltenden Schwierigkeit der Anordnung, theils wegen der Lücken, die ohne Zweifel noch Statt finden, und erſt durch die Erfahrung ausgefüllt werden müſſen. Bei Verbindungen der zweiten Ordnung, und oft auch bei höheren iſt einer der Stoffe Säure, der andere Baſis. Verbindungen aus Säure und Baſis heißen Salze. Ein zuſammengeſetzter Stoff, der weder Säure, Baſis oder Salz iſt, heißt indifferent.

67. Säure heißt, der Wortbedeutung nach, jeder Körper, der einen ſauren Geſchmack erregt. Da aber ſauer ſchmeckende Körper zugleich den Veilchenſyrup und eine Lackmusauflöſung röthen, und zwar ſelbſt dann noch, wenn ſie durch Waſſer ſo ſehr verdünnt ſind, daß ſie den Geſchmacksſinn nicht mehr zu afficiren vermögen; ſo hielt man jene Wirkung für geeigneter zu einem charakteriſtiſchen Kennzeichen, und betrachtete alles als Säure, was dieſe Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht ſauer ſchmeckt, wie z. B. die Blauſäure, die Schwefelwaſſerſtoffſäure. Allein damit ein Körper dieſe Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im Waſſer löslich ſeyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchenſyrup ꝛc. röthenden in allen, ihre chemiſche Natur charakteriſirenden Eigenſchaften (beſonders in ihrem elektriſchen Verhalten) übereinſtimmen, und daher mit denſelben in eine Claſſe gezählt werden müſſen, ohne im Waſſer auflöslich zu ſeyn, wie z. B. die Kieſelſäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemiſchen Verhalten mit den, gewiſſe Pflanzenfarben röthenden, übereinſtimmen. Dieſem Verhalten gemäß, iſt ein Körper nicht an und für ſich, ſondern bloß im Verhältniſſe zu anderen eine Säure, und kann im Verhältniſſe mit wieder anderen dieſen Charakter, ohne eine Aenderung ſeiner inneren Natur, verlieren, indem der Begriff Säure in dem heutigen Sinne bloß etwas Relatives bezeichnet.

68. Jede Säure beſteht aus einem ſäurefähigen Radicale und aus dem ſäuernden Princip; erſteres iſt bald ein chemiſch einfacher, bald, und zwar bei den organiſchen Säuren faſt immer, ein zuſammengeſetzter Körper, letzteres faſt immer ein Grundſtoff, und zwar meiſtens Sauerſtoff, doch kann für einige Radicale die Stelle desſelben auch Chlor, Jod, Brom, Fluor, Schwefel, Selen, ein Metall oder gar ein zuſammengeſetzter Körper, z. B. Cyan (ein aus Stickſtoff und Kohlenſtoff beſtehender Körper), Schwefelcyan ꝛc. vertreten. Säuren ohne Sauerſtoff haben zum Radicale meiſtens Waſſerſtoff (es können aber auch andere Körper den Waſſerſtoff vertreten, wie z. B. Wolfram in der wolframſchwefeligen Säure); daher werden die Säuren überhaupt (aber wie es ſcheint gegen die logiſchen Regeln) in Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäuren eingetheilt. Manches Radicale verbindet ſich in mehreren Verhältniſſen mit dem ſäuernden Princip, und liefert demnach mehrere Säuren, die ſich nicht durch die Natur ihrer Be-

ſtandtheile, ſondern durch ihr quantitatives Verhältniß von einander unterſcheiden, ja es gibt Fälle, wo ſogar bei demſelben quantitativen und qualitativen Verhältniſſe verſchiedene Säuren zum Vorſchein kommen. Hier liegt der Unterſchied bloß in der mehr oder weniger innigen Verbindung der Atome.

Die zuſammengeſetzten Stoffe, welche bei der Säurebildung die Rolle des ſäurenden Princips zu übernehmen vermögen, ſind den einfachen Stoffen ſo analog, daß ſie, wenn man die Stoffe überhaupt nur nach der Aehnlichkeit ihres chemiſchen Verhaltens zuſammenſtellt, in der Reihe der einfachen Stoffe eine Stelle in Anſpruch nehmen, und deßhalb auch ſelbſtſtändige Zeichen erhalten. Einer der wichtigſten dieſer Stoffe, das dem Chlor analoge Cyan $Cy = NC$, von Gay-Luſſac im Jahre 1814 entdeckt, erſcheint als farbloſes Gas, von durchdringendem Geruche, iſt giftig, wird vom Waſſer abſorbirt, und brennt mit ſchön violetter Flamme. Man erhält es, wenn man Cyanqueckſilber $Hg\,Cy^2$ in einer kleinen Retorte über einer Weingeiſtlampe erhitzt. In einer 2 — 3 Linien weiten gebogenen geſchloſſenen Glasröhre entwickelt, dient es als bequemes gefahrloſes Beiſpiel der Tropfbarmachung eines Gaſes nach Faraday's Methode.

69. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Beſtandtheilen, und zwar, wenn ſie Sauerſtoffſäuren ſind, bloß nach dem Radicale, indem man demſelben das Wort Säure nachſetzt; ſind ſie Waſſerſtoffſäuren, ſo ſetzt man dem Säureprincip die Sylbe Hydro vor. So heißt die aus Jod und Sauerſtoff beſtehende Säure Jodſäure, eine aus Chlor und Sauerſtoff zuſammengeſetzte Chlorſäure; aber die aus Jod und Waſſerſtoff gebildete Säure wird Hydrojodſäure, die aus Chlor und Waſſerſtoff gebildete Hydrochlorſäure genannt. Verbindet ſich ein Radicale in mehreren Verhältniſſen mit Sauerſtoff, ſo wird die den meiſten Sauerſtoff enthaltende ſaure Verbindung nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge durch das Radicale, als Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerſtoffmenge beſtehende Säure, Chlorſäure, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge, chlorige Säure. Kennt man von einem Stoffe mehr als zwei Säuren, ſo bezeichnet man die Rangordnung der übrigen dadurch, daß man den auf die vorbezeichnete Weiſe gebildeten Bezeichnungen die Sylbe Ueber oder Unter vorſetzt. So gibt es vier aus Schwefel und Sauerſtoff beſtehende Säuren, die ihrem Range nach ſo auf einander folgen: Schwefelſäure, Unterſchwefelſäure, ſchwefelige Säure, unterſchwefelige Säure. Die Säuren des Chlor heißen nach dem Grade ihrer Oxydation: Ueberchlorſäure, Chlorſäure, chlorige Säure ꝛc. Man ſucht die Benennungen immer ſo zu wählen, daß der Name einer bereits bekannten und benannten Säure durch eine neu entdeckte nicht geändert zu werden braucht. Manche oft vorkommende Säuren haben auch triviale Benennungen, die von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem ſie erzeugt werden ꝛc. hergenommen ſind. So z. B. nennt man die verdünnte Stickſtoffſäure Scheidewaſſer, weil ſie zum Scheiden des Goldes, wel-

ches ſich nicht darin auflöſt, von anderen Metallen gebraucht wird, oder weil ſie aus Salpeter gewonnen wird, Salpeterſäure; die meiſtens aus Kochſalz bereitete Hydrochlorſäure heißt Salzſäure ꝛc.

Da der Charakter einer Säure ein bloß relativer iſt, ſo muß es unter den Säuren eine Rangordnung geben, ſo daß von zwei Säuren, die ſich mit einander verbinden, eine ſogar die Stelle der Baſe vertreten kann. Viele Säuren finden ſich in freiem oder in einem an einen Stoff gebundenen Zuſtande in der Natur, können aber auch durch Kunſt bereitet werden; manche werden bloß durch Kunſt bereitet, manche kann man aber durchaus nicht aus ihren Beſtandtheilen zuſammenſetzen. Letzteres gilt insbeſondere von den organiſchen (den Pflanzen- und Thier-) Säuren, deren Grundlage meiſtens Kohle und Waſſerſtoff, oder Kohle, Waſſerſtoff und Stickſtoff iſt. Einige Säuren ſind ſelbſt für den Phyſiker beſonders wichtig, weßhalb ſie hier kurz charakteriſirt werden.

Die Salpeterſäure N^2O^5 oder vielmehr deren Hydrat $N^2O^5 + H^2O$ erhält man, wenn man verkleinerten Salpeter mit faſt gleicher Gewichtsmenge (97. pCt.) concentrirter Schwefelſäure mäßig erhitzt, wobei Salpeterſäure mit einem Antheil Waſſer (ohne welches ſie nicht exiſtiren kann, ſondern ſogleich in Stickſtoff und Sauerſtoff zerfällt) ausgeſchieden wird, und in die Vorlage übergeht. Der Salpeter iſt $KO + N^2O^5$, die hier anzuwendende Schwefelſäure $2(SO^3 + H^2O)$. In der Retorte bleibt zweifach ſchwefelſaures Kali, in Verbindung mit einem Antheile Waſſer, d. i. $KO + 2\,SO^3 + H^2O$, während $N^2O^5 + H^2O$ frei wird. Nimmt man, wie früher gebräuchlich war, bloß halb ſo viel Schwefelſäure als Salpeter, ſo iſt eine höhere Temperatur zur Operation nöthig; in der Retorte bleibt zuletzt einfach ſchwefelſaures Kali zurück, aber es wird, wie Mitſcherlich, dem wir die Aufklärung über dieſe Vorgänge verdanken, gezeigt hat, ein Theil der Salpeterſäure zerlegt und geht verloren, was man an der reichlichen Entwicklung von Sauerſtoffgas erkennt. Während der Operation ſelbſt entwickeln ſich gelblich rothe Dämpfe, die ſich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüſſigkeit verdichten laſſen, welche beſtändig Dämpfe, wie die, woraus ſie entſtanden iſt, ausſendet und rauchende Salpeterſäure heißt. Sie iſt eine Verbindung von Salpeterſäure und ſalpetriger Säure, aus der man erſtere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Waſſer vertreibt. Im erſteren Falle erhält man ſie concentrirt, im letzteren verdünnt, wo ſie dann, wenn ſie bereits perlblau oder waſſerhell geworden iſt, doppeltes oder einfaches Scheidewaſſer heißt. Die reine Salpeterſäure hat einen ſehr ſauren Geſchmack, färbt die thieriſche Haut und andere organiſche Körper dauerhaft gelb, zerſtört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet ſich unter Wärmeentwicklung mit Waſſer, zieht dasſelbe ſogar aus der Atmoſphäre an; ſie nimmt keinen Sauerſtoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desſelben an leicht oxydirbare Körper ab, und verwandelt ſich dann in ſalpetrige Säure N^2O^3 oder gar in Stickſtoffoxyd N^2O^2 (Salpetergas), oder in oxydirtes Stickgas N^2O (Stickſtoffoxydul), ja ſie kann ſogar denſelben ganz fahren laſſen. Uebergießt man daher Kupferfeile mit Scheidewaſſer, ſo erhält man, während ſich das Metall auf Koſten eines Theiles der Säure oxydirt, um ſich in dem übrigen Theile derſelben aufzulöſen, das Salpetergas als eine farbloſe Gasart, welche vom Waſſer nur in geringer Menge aufgenommen wird, aber in Berührung mit atm. Luft oder mit Sauerſtoffgas ſich ſogleich wieder oxydirt und rothe Dämpfe liefert, ein Gemenge von ſalpetriger und Salpeterſäure, die vom Waſſer verſchluckt werden. Wird Zink in ſehr verdünnter Sal-

peterſäure aufgelöſt, oder dem Salpetergas durch feuchte Eiſenfeile Sauerſtoff entzogen, ſo erhält man Stickſtoffoxydul, ein farbeloſes Gas, welches vom Waſſer abſorbirt wird, und eingeathmet einen eigenthümlichen, dem Rauſche ähnlichen Zuſtand hervorruft. Man kann es auch durch Zerlegung des ſalpeterſauren Ammoniaks $N^2H^6 + N^2O^5$ bereiten, das erhitzt in Stickoxydul und Waſſer zerfällt.

Die Salzſäure HCl (Chlorwaſſerſtoffſäure) erhält man, wenn man Kochſalz mit 84 pCt. Schwefelſäure vorſichtig übergießt und hierauf erwärmt. Sie erſcheint in Geſtalt weißer Dämpfe, die ſich zu tropfbarer Säure verdichten laſſen (welche aber noch immer Dämpfe ausſtoßt), und darum auch rauchende Salzſäure heißt. In reiner Gasgeſtalt iſt ſie farbelos, unathembar, weder brennbar, noch das Brennen nährend, röthet Pflanzenfarben, ohne ſie zu zerſtören, macht aber die organiſchen Körper mürbe, und erregt auf der Haut eine ſtechende Empfindung. Ein Gemiſche von Salzſäure und Salpeterſäure führt den Namen Königswaſſer, weil ſich Gold darin auflöſet.

Schwefelige Säure SO^2 iſt das erſtickende Gas, das ſich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt, und das man auch erhält, wenn man Queckſilber mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erhitzt. Es iſt farbelos, hat einen erſtickenden Geruch, iſt weder ſelbſt brennbar, noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thieriſche Subſtanzen, wird vom Waſſer abſorbirt, und ſo in tropfbare Säure verwandelt, kann aber durch ſtarke Erkältung oder durch einen nur etwas ſtarken Druck tropfbar werden, und ſtellt dann eine waſſerklare Flüſſigkeit dar, welche ſchon bei — 10° C. ſiedet.

Von der Schwefelſäure kommen im Handel zwei Sorten vor; die weiße engliſche und die braune ſächſiſche (oder das Nordhauſer Oehl). Erſtere wird durch Verbrennen des Schwefels, unter Zuſatz von Salpeter, bereitet. Hier wird ein Theil der ſich bildenden ſchwefligen Säure auf Koſten der Säure des Salpeters oxydirt, und in Schwefelſäure verwandelt, welche mit dem Kali des Salpeters ſich verbindet; die zerlegte Salpeterſäure liefert Stickſtoffoxyd, welches aus der atmoſphäriſchen Luft Sauerſtoff aufnimmt, in ſalpetrige Säure übergeht, die dann, wenn Waſſer zugegen iſt, ſich wieder auf Stickſtoffoxyd reducirt, um der ſchwefeligen Säure Sauerſtoff abzutreten, damit Schwefelſäure, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer hat, ſich bilde; das Stickſtoffoxyd nimmt ſodann aus der atmoſphäriſchen Luft ein neues Sauerſtoffquantum auf, welches wieder auf die ſchwefelige Säure übertragen wird u. ſ. w. Das Nordhauſer Oehl wird durch Deſtillation des calcinirten Eiſenvitriols erhalten. Die auf dem einen oder dem andern Wege gewonnene Säure muß erſt durch Deſtillation concentrirt und gereiniget werden. Die wäſſerige reine Schwefelſäure (ein Hydrat der waſſerfreien Schwefelſäure, nämlich $SO^3 + H^2O$) iſt ein waſſerheller, geruchloſer, wie Oehl flüſſiger Körper, der alle Eigenſchaften einer ſtarken Säure hat, mit Waſſer ſich heftig erhitzt, ſelbes ſchon aus der Atmoſphäre ſtark anzieht, und es überhaupt überall aus ſeinen Beſtandtheilen zu bilden ſucht. Daher kommt auch die zerſtörende und verkohlende Kraft, mit welcher ſie auf alle organiſchen Körper wirkt, und ſelbſt das Schwarzwerden dieſer Säure in Berührung mit organiſchen Stoffen oder mit der Luft, die organiſche Ausdünſtungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelſäure die, eine Verbindung des vorerwähnten Hydrates der Schwefelſäure, mit einem andern, weniger Waſſer enthaltenden iſt, in einer Retorte mit vorgelegtem gekühlten Ballon, ſo ſammeln ſich in letzterem asbeſtartige Kryſtalle, die waſſerfreie Schwefelſäure SO^3 darſtellen.

Die Schwefelwaſſerſtoffſäure (Hydrothionſäure) H^2S erhält man durch Erwärmen des rohen, mit Salzſäure übergoſſenen Spießglanzes. Sie bildet ein farbloſes, nach faulen Eiern riechendes, wohl zum Selbſtbrennen, aber nicht zum Unterhalten des Brennens anderer Körper taugliches, für die Reſpiration höchſt nachtheiliges Gas. Es wird vom Waſſer aufgenommen, läßt ſich aber auch ohne Waſſer durch ſtarken Druck tropfbar darſtellen, und liefert dann eine ungemein bewegliche, waſſerhelle Flüſſigkeit. Die wäſſerige Säure hat den Geruch des Gaſes und wird in der Luft zerſetzt.

Die Phosphorſäure P^2O^5 bildet einen feſten, äußerſt feuerbeſtändigen, ſchwach ſauer ſchmeckenden, im Waſſer löslichen Körper. Sie wird aus thieriſchen Knochen mittelſt Schwefelſäure bereitet. Man kennt auch eine phosphorige und unterphosphorige Säure.

Die Flußſäure HF (Fluorwaſſerſtoffſäure) erhält man durch Zerlegung des Flußſpathes (Calciumfluorides) mittelſt Schwefelſäure. Sie erſcheint da in Gasgeſtalt, iſt höchſt irreſpirabel, weder ſelbſt brennbar noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, löſet das Glas auf, daher man es zum Aetzen desſelben brauchen kann, und erregt auf der Haut ſchmerzhafte Geſchwüre; es wird vom Waſſer abſorbirt, und ertheilt demſelben ſeine, Kieſelerde und Glas auflöſende Kraft.

Die Kohlenſäure CO^2 erſcheint in der Regel als Gas, kann aber auch tropfbar und feſt dargeſtellt werden (37). Als Gas iſt ſie ſchwerer als atmoſphäriſche Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Waſſer leicht abſorbirt, und ertheilt demſelben einen angenehmen ſäuerlichen Geſchmack; ſie widerſteht der Fäulniß mächtig. Sie findet ſich als Gas an vielen Orten der Erde, und ſtrömt hie und da von ſelbſt aus beſonderen Oeffnungen mit oder ohne Waſſer hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; ſie entwickelt ſich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künſtlich durch Schwefelſäure aus Kreide, Marmor, d. i. aus kohlenſaurem Kalke, ꝛc. ausgetrieben. Man benützt ſie häufig zur Bereitung künſtlicher Mineralwäſſer. — Der Kohlenſtoff liefert mit dem Sauerſtoffe noch andere Säuren, wovon wir hier nur die Oxalſäure oder Kleeſäure C^2O^3 nennen, welche, mit Waſſer verbunden, in feſtem Zuſtande in farbloſen Kryſtallen erſcheint.

70. Baſen ſind in chemiſcher Beziehung den Säuren gerade entgegengeſetzt, und verbinden ſich mit denſelben zu Salzen; ſie beſtehen faſt immer aus zwei Elementen, und meiſtens iſt eines derſelben ein Metall und die Baſis ein Oxyd, nicht ſelten aber auch eine ſolche Verbindung der erſten Ordnung, in welcher Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Phosphor, Bor, Fluor ꝛc. den negativen Beſtandtheil abgibt, und den man nach der Analogie mit der Bedeutung des Wortes Oxyd (wo das Oxygen den neg. Beſtandtheil bildet), Chlorid, Bromid, Sulphurid, Selenid, Phosphorid, Borid, Fluorid ꝛc. nennt. Die ſchwächeren Baſen ſtehen den Säuren ziemlich nahe, und ſpielen ſelbſt manchmal die Rolle einer Säure; bei den ſtärkeren aber geht der Gegenſatz mit den Säuren ſo weit, daß ſie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben wieder herſtellen, und ſelbſt eine Aenderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzenſäfte bewirken (ſie färben den Veilchenſyrup grün, die Curcumetinctur braun), welche aber wieder

durch Säuren aufgehoben wird. Diejenigen, bei welchen die baſiſche Natur ſo ſtark hervortritt, heißen Alkalien oder alkaliſche Erden, je nachdem ſie im Waſſer leicht oder nur wenig löslich ſind, auch die ſchlechtweg Erden genannten Körper gehören hierher; ſelbſt das Pflanzen= und Thierreich liefert Baſen, wovon einige ſogar Spuren einer alkaliſchen Natur an ſich tragen.

Die Alkalien haben einen eigenthümlichen brennenden Geſchmack, greifen organiſche Subſtanzen an und zerſtören ſie mit der Zeit, darum man ſie ätzend nennt; ſie ſind ſchmelzbar und laſſen ſich ſogar verflüchtigen; ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den tropfbaren oder feſten Maſſen nichts bemerkt. Sie liefern mit Oehlen im Waſſer lösliche Seifen. Man kennt vier derſelben: Kali, Natron, Lithion, Ammoniak; die drei erſteren ſind Metalloxyde, das letztere beſteht aus Waſſerſtoff und Stickſtoff, und unterſcheidet ſich auch von den übrigen durch ſeine große Flüchtigkeit, vermöge welcher es leicht in Gasform erſcheint. Die alkaliſchen Erden beſitzen faſt mit den Alkalien einerlei Eigenſchaften, nur ſind ſie weniger löslich im Waſſer, und haben ein erdartiges Ausſehen, geben mit Oehlen im Waſſer unlösliche Seifen, und ſind einzeln für ſich nicht ſchmelzbar. Sie ſind durchaus Metalloxyde, und zwar Oxyde von Barium, Strontium, Calcium, Magneſium, und führen demnach die Namen: Baryt=, Strontian=, Kalk=, Bittererde. Den eigentlichen Erden fehlt die Aetzkraft, die Wirkung auf Pflanzenfarben und der Geſchmack, auch ſind ſie im Waſſer gar nicht oder nur in äußerſt geringer Menge löslich, geben mit Oehlen keine Seifen, und ſind für ſich einzeln nicht ſchmelzbar. Sie ſind ohne Ausnahme Metalloxyde, und zwar die Oxyde von Aluminium, Thorium, Beryllium, Yttrium, Zirconium, und heißen demnach Alaun= (Thon=), Thor=, Beryll=, Ytter= und Zirconerde. Viele der übrigen Metalloxyde ſind entſchieden Baſen, ja einige derſelben, wie z. B. das Zinkoxyd, Bleioxyd, ſtellen ſich ſogar in Betreff ihrer baſiſchen Natur nahe an die alkaliſchen Erden, indem ſie wie dieſe auf Pflanzenfarben wirken, und ſind nur durch ihre geringe Löslichkeit im Waſſer von den Alkalien getrennt, aber einige Metalloxyde müſſen erſt einen Theil ihres Sauerſtoffs fahren laſſen, andere noch mehr aufnehmen, um als Baſen auftreten, d. h. ſich mit Säuren zu Salzen verbinden zu können; erſtere nennt man darum auch Hyperoxyde, letztere Suboxyde. Viele der organiſchen Salzbaſen ſtehen den alkaliſchen Erden ſehr nahe, wie z. B. das Morphin, das Strichnin; faſt alle haben einen eigenthümlichen unangenehmen Geſchmack, und, beſonders die vegetabiliſchen, eine beſonders heftige Wirkung auf den Organismus.

71. Salze ſind Verbindungen der Säuren mit Baſen, alſo Verbindungen der zweiten Ordnung. Sie ſind im waſſerfreien Zuſtande feſt, und wenn ſie rein ſind und aus farbloſen Baſen und Säuren beſtehen, auch farblos; die aus farbigen Baſen beſtehenden haben meiſtens die Farbe der waſſerhaltigen Baſis, oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt ſtark von dem Waſſergehalte ab. Die meiſten Salze ſind im Waſſer löslich und haben einen eigenthümlichen Geſchmack; ihre Löslichkeit im Waſſer hängt von der Natur der Säure und Baſis, vom Oxydationszuſtande der letzteren, vom Miſchungsverhältniſſe der zwei Beſtandtheile und von der Temperatur ab; ſie brauchen faſt durchaus dem Gewichte nach mehr Waſſer, als ihr eigenes

Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und dieſe nach der Baſis in Arten ein. So z. B. bilden die ſchwefelſauren, ſalpeterſauren, kohlenſauren Salze Gattungen, ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaures Eiſenoxyd Arten der Gattung ſchwefelſaurer Salze. Man bezeichnet ſie dadurch, daß man der Baſis den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorſetzt, wie die vorhergehenden Beiſpiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wiſſenſchaft mit Nutzen gebraucht werden. Man ſagt nämlich lieber Salpeter, als ſalpeterſaures Kaliumoxyd, Glauberſalz ſtatt waſſerhaltiges, kryſtalliſirtes, ſchwefelſaures Natriumprotoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Charakter und unterſcheidet ſich dadurch von den übrigen Gattungen. Man theilt die durch Sauerſtoffſäuren gebildeten Salze in neutrale, ſaure und baſiſche ein. Für ein neutrales Salz wurde früher jenes erklärt, worin die Säure und Baſis ſich gegenſeitig neutraliſirt haben (43); der gegenwärtige Stand der Wiſſenſchaft fordert jedoch eine paſſendere Begriffsbeſtimmung. Man nennt jetzt in der Regel ein Salz neutral, worin jedem Sauerſtoffatom der Baſis ein Atom der Säure entſpricht. Dem gemäß verhält ſich z. B. in allen neutralen ſchwefelſauren Salzen der Sauerſtoffgehalt der Säure zu jenem der Baſis wie 3 : 1, in den ſalpeterſauren Salzen wie 5 : 1 u. ſ. w. Iſt der Sauerſtoffgehalt der Säure größer, ſo heißt das Salz ſauer, iſt er geringer, ſo wird das Salz baſiſch genannt. Es enthält demnach keinen Widerſpruch, wenn man ſagt, die Auflöſungen der neutralen Eiſenoxydſalze röthen den Lackmus. Es kann ſich aber nicht jede Baſe in dieſem dreifachen Verhältniſſe mit einer Säure zu Salzen verbinden, ſo wie überhaupt nicht jede Baſe mit einer Säure ein Salz gibt; dafür verbindet ſich wieder manche Baſe zugleich mit zwei Säuren, und noch häufiger eine Säure mit zwei Baſen, und es entſtehen auf dieſe Weiſe die ſogenannten Doppel- und dreifachen Salze, wovon der Alaun ein Beiſpiel gibt, wo die Schwefelſäure mit Kali und Thonerde zugleich verbunden vorkommt. Salze mit drei Baſen und einer Säure kommen wohl auch, doch ſeltener vor.

Die älteren Chemiker nannten jeden, wenigſtens in 500 Th. Waſſer löslichen Körper ein Salz, und begriffen demnach auch Säuren, Alkalien ꝛc. unter dieſem Namen; ſpäter hat man nur Verbindungen von Sauerſtoffſäuren mit Metalloxyden oder Ammoniak Salze genannt; allein dagegen erklärten ſich Viele, weil man dadurch gerade das charakteriſtiſcheſte der Salze, das Kochſalz (Natriumchlorid) von den Salzen ausſchließt. Um dieſem Uebelſtande zu begegnen, hat Berzelius den Begriff Salz dahin modificirt und erweitert, daß er ihn nicht auf die Zuſammenſetzung ſondern auf die Eigenſchaften des Productes bezieht, und den Charakter eines Salzes bloß in den Zuſtand der vollkommenen Neutraliſation ſetzt, die nächſten Beſtandtheile mögen nun einfach oder zuſammengeſetzt ſeyn. Demnach wären die Chloride, Jodide, Fluoride (B. nennt ſie Haloidſalze), ja ſelbſt das Waſſer ein Salz. Es ſcheint, obiger Begriff entgehe allen dieſen Unzukömmlichkeiten, beſonders wenn man annimmt, das Kochſalz ſey eine Verbin-

dung von Natriumchlorid mit Waſſer, und erſteres ſpiele die Rolle der Baſe, letzteres die der Säure.

72. Indifferente Stoffe ſind alle diejenigen, welche weder Säuren noch Baſen ſind. Es gibt vielleicht keinen abſolut indifferenten Stoff, aber in Beziehung auf gewiſſe Körper ſind einige entſchieden indifferent. Derlei findet man im Reiche der organiſchen und unorganiſchen Natur.

Ein für den Phyſiker höchſt wichtiger indifferenter Stoff iſt das Waſſer H^2O. Im reinen Zuſtande iſt es geſchmack-, geruchlos und höchſt durchſichtig; es hat in kleinen Maſſen keine merkliche Farbe, in größeren iſt ſeine Farbe bläulich grün. (Davy in Zeitſch. S. 238.) Wiewohl es in allen drei Naturreichen vorkommt und einer der verbreitetſten Körper dieſer Erde iſt, ſo trifft man es doch nur in den Eishöhlungen der Gletſcher rein an, wo es mit keinem anderen Körper als mit Eis in Berührung kommt, auch nicht von der darüber befindlichen Luft organiſche Stoffe einſaugen kann. Das gewöhnliche Waſſer kann man durch Deſtillation reinigen. Vermög ſeiner vielſeitigen Verwandtſchaft nimmt es Körper von verſchiedener Art auf, meiſtens aber Salze und Luftarten; durch erſtere bekommt es einen eigenthümlichen Geſchmack und wird zu manchem techniſchen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Waſſer. Viele Stoffe nimmt es mechaniſch mit ſich fort, ſetzt ſie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Waſſer, das organiſche Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geſchmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil dieſe Stoffe durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieſes abzuwarten kann man Waſſer reinigen, indem man es durch abwechſelnde Schichten von Kohle und Sand oder durch mehrere Sandſchichten leitet. Selbſt das reinſte Waſſer verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organiſche Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder ſalpeterſaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit ſchützen. Die Verbindungen mit Waſſer heißt man Hydrate, und in dieſen ſpielt das Waſſer oft die Rolle der Säure, oft aber auch jene der Baſis. — Es iſt ſchon früher geſagt worden, daß das Waſſer aus Sauerſtoff und Waſſerſtoff beſtehe (Waſſerſtoffoxyd ſey). Davon kann man ſich auf zweifache Weiſe überzeugen, nämlich, indem man aus zwei Vol. Waſſerſtoffgas und ein Vol. Sauerſtoffgas mittelſt eines elektriſchen Funkens Waſſer erzeugt, das dem Gewichte nach jenem der beiden Gaſe zuſammengenommen gleich kommt, oder indem man Waſſerdampf durch ein glühendes eiſernes Rohr leitet. Im letzteren Falle oxydirt ſich das Eiſen und nimmt am Gewichte zu, und es entwickelt ſich Waſſerſtoffgas. Das Gewicht dieſes Gaſes, vermehrt um die Gewichtszunahme des Eiſens, beträgt ſo viel, als das verſchwundene Waſſer wiegt.

Der Waſſerſtoff geht mit dem Sauerſtoffe noch eine andere, von Thénard entdeckte Verbindung, das Waſſerſtoffſuperoxyd H O ein.

Andere für den Phyſiker wichtige indifferente Stoffe ſind gewiſſe Verbindungen des Kohlenſtoffs und Phosphors mit Waſſerſtoff. Die Kohle geht mit Waſſerſtoff ſehr viele Verbindungen ein, und liefert unter andern auch zwei Gaſe. Das Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Minimum von Kohlenſtoff CH^4 entwickelt ſich in Sümpfen (daher es auch Sumpfgas heißt), in Kohlenbergwerken, kann aber künſtlich erzeugt werden, wenn man Waſſerdämpfe durch ein glühendes mit Kohlenpulver gefülltes eiſernes Rohr leitet. Es iſt nicht reſpirabel, riecht

ſehr unangenehm, läßt ſich anzünden, und brennt mit einer ſehr ſchwa-
chen blauen Flamme, die nicht ſtark leuchtet, detonirt aber, mit Sauer-
ſtoffgas gemiſcht und dann angezündet, ſehr heftig. Das Kohlenwaſ-
ſerſtoffgas mit dem Maximum an Kohlenſtoff CH^2 wird durch Deſtil-
lation organiſcher Subſtanzen, vorzüglich Oehl, Steinkohlen ꝛc., beſ-
ſer aber durch Erhitzen einer Miſchung von 1 Theil Alkohol mit 4 Th.
ſtarker Schwefelſäure erhalten. Es iſt farblos, von widrigem Ge-
ruche, brennbar, und zwar brennt es mit ſehr heller, lebhafter Flamme,
verpufft, mit Sauerſtoffgas erhitzt, ſehr gewaltig, und liefert mit
Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas
nennt. (Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 und 324.) — Auch der Phos-
phor liefert mit Waſſerſtoff einen gasförmigen Körper, den man er-
hält, wenn man Phosphor in Aetzlauge vorſichtig kocht. Anfangs er-
hält man ein nach faulen Fiſchen riechendes Gas, das ſich in der Luft
von ſelbſt entzündet, in Sauerſtoffgas aber mit ſehr ſtarker Lichtent-
wicklung und mit Exploſion verbrennt. Das ſich gegen Ende der Ope-
ration entwickelnde Gas iſt nicht mehr in der Luft entzündlich. Es iſt
das eigentliche reine Phosphorwaſſerſtoffgas, und kann durch Auf-
nahme fein zertheilten, mechaniſch mitgeriſſenen Phosphors in der Luft
ſelbſtentzündlich werden. — Als ein bemerkenswerther indifferenter Stoff
mag hier noch das Kohlenoxyd CO genannt werden, welches man in
Gasform erhält, wenn man der kryſt. Oxalſäure durch Schwefelſäure
das Waſſer entzieht, und das ſich dabei entwickelnde Gas durch eine
Kalilöſung leitet. Hierbei zerfällt die Oxalſäure in Kohlenſäure und
in Kohlenoxydgas, wovon erſtere durch die Kalilöſung aufgenommen
wird. Das Kohlenoxydgas brennt mit blauer Flamme. Es bildet ſich
auch beim Verbrennen der Kohle unter gehemmtem Luftzutritte.

73. Bis in die neueſte Zeit glaubte man, verſchiedene chemiſche
Eigenſchaften eines Körpers können nur bei einer verſchiedenen Anzahl
von Atomen derſelben Elemente oder bei gleicher Anzahl von Atomen
verſchiedener Elemente vorhanden ſeyn. Gegenwärtig kennt man aber
mehrere in Bezug auf ihr chemiſches Verhalten ſehr verſchiedene Kör-
per, die deßungeachtet ein gleiches Atomengewicht beſitzen, und aus
einer gleichen Anzahl Atome derſelben Elemente beſtehen. Man nennt
ſie iſomeriſche Stoffe. Von dieſer Art ſind Wein- und Trau-
benſäure $C^4 H^4 O^5$, die eine ganz gleiche chemiſche Zuſammenſetzung
haben und doch verſchiedene Salze bilden, Aepfelſäure und Citronen-
ſäure $C^4 H^4 O^4$, Knallſäure und Cyanſäure $Cy^2 O = N^2 C^2 O$ ꝛc.
Eben ſo ſollte man glauben, daß dieſelben Elemente ſtets dasſelbe Pro-
duct liefern müßten, ihre abſolute Anzahl mag welche immer ſeyn,
wenn nur ihr Verhältniß nicht geändert wird. Aber auch hierüber
hat uns die Erfahrung eines anderen belehrt. Sowohl im Weinöhl
(Aetherin) als im öhlbildenden Gaſe, die beide aus Kohlenſtoff und
Waſſerſtoff beſtehen, iſt die Anzahl der Waſſerſtoffatome doppelt ſo groß
als jene der Kohlenſtoffatome; nur ſind in erſterem 4 At. Kohlenſtoff
mit 8 At. Waſſerſtoff, in letzterem 1 At. Kohlenſtoff mit 2 At. Waſſer-
ſtoff verbunden, die Eigenſchaften des Weinöhles ſind aber von jenen
des öhlbildenden Gaſes weit verſchieden. Berzelius nennt ſolche
Körper polymeriſche. Man kann dieſe Verſchiedenheiten der Kör-
per bei gleicher Zuſammenſetzung nur dadurch unſerer Vorſtellungs-
weiſe näher bringen, daß man annimmt, es können ſich dieſelben

Atome mehr oder weniger innig mit einander verbinden. Damit hängt auch jene chemiſche Umſtaltung der Körper zuſammen, die ſie oft erleiden, ohne daß etwas hinzu- oder wegkommt, wie dieſes mit der Cyanurſäure $\bar{Cn} = N^3 C^3 H^3 O^3$ der Fall iſt, welche auf ſolche Weiſe in Cyanſäure und Waſſer zerfällt, ſo daß ſich aus 2 At. Cyanurſäure 3 At. waſſerhältige Cyanſäure bilden. Derlei Körper nennt Berzelius metameriſche.

74. Die chemiſche Zuſammenſetzung der organiſchen Körper iſt von jener der unorganiſchen weſentlich verſchieden, und bietet überhaupt keine ſo große Mannigfaltigkeit der Beſtandtheile dar, wie dieſe, indem die vegetabiliſchen Körper im Weſentlichen höchſtens nur Sauerſtoff, Kohlenſtoff, Waſſerſtoff und Stickſtoff, in der Regel ſogar nur die drei erſteren Grundſtoffe, thieriſche aber faſt immer alle vier, aber nicht mehr enthalten. Auch die Art der Verbindung dieſer Stoffe unter ſich hat bei der organiſchen Natur etwas Eigenthümliches. Während in der unorganiſchen Welt immer nur zwei einfache Stoffe unter ſich, und zwei zuſammengeſetzte derſelben Art wieder unter ſich verbunden vorkommen (43), trifft man in der organiſchen auch drei Grundſtoffe mit einander unmittelbar verbunden an. Chemiker von Gewicht ſehen die organiſchen Stoffe gleich den unorganiſchen als ſalzartige Verbindungen von Kohlenſtoffverbindungen mit den Elementen des Waſſers und der Luft an, ſtimmen aber hierbei, da ein ſolcher zuſammengeſetzter Stoff oft auf mehrere Arten in andere zuſammengeſetzte zerfällt werden kann, in ihren Anſichten nicht ſtets überein. So läßt ſich der Aether $C^4 H^{10} O$ als eine Verbindung des Aetherins $C^4 H^8$ mit Waſſer $H^2 O$, der Alkohol $C^4 H^{12} O^2$ als eine Verbindung von Aether mit Waſſer betrachten; man kann aber auch nach Liebig's Vorgang (Pogg. Ann. 31. 321) ein eigenes Radikal Aethyl $C^4 H^{10}$ annehmen, und den Aether für ein Oxyd des Aethyls, den Alkohol für ein Hydrat des Aethyloxyds erklären. Um derlei Anſichten durchzuführen, wird in einigen Fällen vorausgeſetzt, es habe ſich bei der Verbindung zuſammengeſetzter Atome unter ſich oder mit einfachen, ein Theil ausgeſchieden. So z. B. kann der Harnſtoff, der aus 2 At. Sauerſtoff, 2 At. Kohlenſtoff, 8 At. Waſſerſtoff und 4 At. Stickſtoff beſteht, als Verbindung von 1 At. Kohlenſäure und 2 At. Ammoniak angeſehen werden, wenn man annimmt, es habe ſich bei der Verbindung 1 At. Waſſer ausgeſchieden. (Mitſcherlich in Pogg. Ann. 31. 631.) Ein anderer weſentlicher Charakter der org. Verbindungen iſt das häufige Vorkommen iſomeriſcher Stoffe. Von dieſer Art iſt eine große Menge ätheriſcher Oehle (Blanchet und Sell in Pogg. Ann. 29. 133), Harze, Säuren ꝛc. Dieſes beweiſet, daß es mehrere Grade der Innigkeit in der Verbindung der organiſchen Atome gibt. Organiſche Stoffe haben auch das Eigenthümliche, daß ſie ſchon durch den Einfluß der Luft und des Waſſers eine Zerſetzung erleiden.

75. Organiſche Körper werden nur durch die Lebenskraft vor der zerſtörenden Wirkung, welche ihre chemiſchen Elemente auf einander auszuüben ſuchen, bewahrt. Sobald daher die Lebenskraft entwichen,

d. h. der Körper dem Reiche des Todten anheim gefallen iſt, beginnt die ſelbſtſtändige Wirkſamkeit der Verwandtſchaft ſeiner Elemente, und der Körper erleidet, wenn nur die dazu nöthigen äußern Bedingungen vorhanden ſind, eine förmliche Zerſetzung, die man Gährung nennt. Dabei werden neue Producte gebildet, nach deren Verſchiedenheit man auch verſchiedene Arten der Gährung unterſcheidet, nämlich die weinige oder geiſtige, die ſaure und die faule Gährung.

76. Der weinigen oder geiſtigen Gährung unterliegen unter günſtigen Umſtänden nur der Zucker und zuckerhältige Subſtanzen. Dieſe Bedingungen ſind: Vorhandenſeyn eines ſtickſtoffhältigen Körpers (Fermentes), welcher durch ſeine bloße Gegenwart die Gährung einzuleiten ſcheint (40), tropfbarer Zuſtand, Ruhe, eine Temperatur von 20—30° C., Zutritt der Luft, wenigſtens eine kurze Zeit hindurch. Erleichtert wird dieſe Gährung noch durch eine hinreichend große Maſſe des zuckerhältigen Stoffes. Um den Hergang der geiſtigen Gährung in ihrer einfachſten Form wahrzunehmen, löſe man 5 Gewichtstheile Zucker in 20 Th. Waſſer auf, ſetze der Auflöſung 1 Th. Bierhefe zu, und ſtelle ſie an einen hinreichend warmen, ruhigen Ort. Da tritt bald eine lebhafte Bewegung der Flüſſigkeit ein, ſie wird trübe, ihre Temperatur ſteigt, und es entwickeln ſich Luftblaſen, die ſich als Kohlenſäuregas charakteriſiren. Nach einiger Zeit hört die innere Bewegung der Flüſſigkeit auf, die Maſſe klärt ſich, nimmt die Temperatur der Umgebung an, und erſcheint nun nicht mehr zuckerhältig ſondern geiſtig ſchmeckend, berauſchend, und man kann aus ihr durch Deſtillation Alkohol, eine leicht entzündliche, flüchtige, ſcharf ſchmeckende, ſich mit Waſſer leicht miſchende, Harze und Oehle auflöſende Flüſſigkeit abſcheiden. Der Gehalt an Waſſer der alſo umgewandelten Flüſſigkeit iſt um ein Geringes kleiner geworden, vom Fermente iſt nur ein unmerklich kleiner Theil verloren gegangen, ſo daß man annehmen kann, der Zucker ſey nach Aufnahme von etwas Waſſer in Kohlenſäure und Alkohol zerlegt worden. In der That lehrt die chemiſche Analyſe, daß die Vereinigung von 1 At. kryſtalliſirten Rohrzucker $C^{12} H^{22} O^{11}$ mit 1 At. Waſſer der Summe von 2 At. Alkohol und 4 At. Kohlenſäure entſpricht, denn es iſt $C^{12} H^{24} O^{12} = 2 C^4 H^{12} O^2 + 4 CO^2$. Die Gährung des Traubenmoſtes (die Formel für den Traubenzucker iſt gleichfalls $C^{12} H^{24} O^{12}$; als Ferment dient der im Traubenſafte enthaltene Pflanzenleim), des Obſtmoſtes, des Malz- und Honigdecoctes folgt denſelben Geſetzen, und es kommen dadurch jene geiſtigen Getränke zum Vorſchein, die man im allgemeinen Wein, Cider, Bier, Meth nennt, und welche ihre berauſchende Eigenſchaft dem bei der Gährung gebildeten Alkohol verdanken.

Aus dem hier Geſagten wird man ſich leicht erklären, was bei der Weinbereitung überhaupt vor ſich geht, warum ſaure Trauben ſchlechten oder nur ſchwachen Wein geben; warum Bier um ſo ſtärker wird, je mehr Malz man zu deſſen Bereitung anwendet; warum Aepfel, Birnen zur Bereitung des Obſtweines, Kartoffeln, Kirſchen, Syrupe zur Erzeugung des Alkohols oder Branntweins verwendet werden können. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der er-

ſten heftigen Gährung, und geben daher ein zugleich berauſchendes und ſüßes Getränke, wie die ſogenannten Ausbrüche, den Meth ꝛc. Trauben unter Queckſilber gepreßt und ganz von der Luft abgeſperrt, geben keinen Wein. Uebrigens dauert die Weingährung, ſelbſt wenn das Kohlenſäuregas nicht entweichen kann, ſondern ſich über dem gährendem Moſte verdichten muß, noch eine geraume Zeit fort; daher Weine mit der Zeit immer ſtärker werden, aber wenn ſie ſüß ſind, nach und nach dieſen Geſchmack verlieren, und auch, wenn ſie freie Säure enthalten, dieſelbe abſetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der erſten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeſchloſſen, ſo nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlenſaure Luft auf, und gibt ſie erſt nach dem Oeffnen des Gefäßes allmählig wieder von ſich, wie dieſes mit dem mouſſirenden Champagner, Bouteillenbier ꝛc. der Fall iſt.

77. Enthält der Alkohol nebſt Waſſer noch ein Ferment, ſo geht er unter dem Einfluſſe der atm. Luft und bei einer Temperatur von 25—30° C. in eine neue Gährung über, welche man die ſaure oder Eſſiggährung nennt. Es trübt ſich nämlich die Maſſe von Neuem, abſorbirt Sauerſtoff aus der Atmoſphäre, und bedeckt ſich dabei an der Oberfläche mit einer kahmigen Haut. Iſt die Flüſſigkeit wieder klar geworden, ſo findet man ſie nicht mehr geiſtig, ſondern ſauer ſchmeckend, und man erhält daraus durch Deſtillation Eſſigſäure. Dieſe iſt ohne Zweifel durch Oxydation des Alkohols entſtanden, wenn gleich der eigentliche Vorgang hierbei noch nicht hinreichend in das Licht geſtellt iſt (Pogg. Ann. 37. 61). Die Zuſammenſetzung der waſſerhältigen Eſſigſäure iſt $C^4 H^8 O^4$; man kann daher annehmen, das Aetherin des Alkohols abſorbire 4 At. Sauerſtoff aus der Luft, während die mit erſterem verbundenen 2 At. Waſſer ausgeſchieden werden.

Unſer gewöhnlicher Eſſig iſt nicht reine Eſſigſäure, ſondern enthält nur mehr oder weniger von derſelben; nur guter Wein gibt guten Eſſig, aber durch Zuſätze kann auch aus mittelmäßigem Weine guter Eſſig gewonnen werden. (Schweigg. J. 65. 279. Pogg. Ann. 24. 591.) Statt ein Ferment anzuwenden kann man den in Eſſig umzuſtaltenden Alkohol mit feinzertheiltem Platin in Contact bringen, wodurch die Rolle, welche erſteres bei dem auf gewöhnliche Weiſe eingeleiteten Gährungsprozeſſe ſpielt, erſichtlich gemacht wird.

78. Organiſche Körper, welche bereits die ſaure Gährung überſtanden haben, und ſolche, die ſie aus Mangel an Zuckergehalt oder Alkohol nicht eingehen können, unterliegen unter günſtigen Umſtänden, d. h. bei einer Temperatur zwiſchen 0 und 40° C., und bei hinreichender Feuchtigkeit, der faulen Gährung. Sie bekommen einen üblen Geruch, werden weich und breiartig, geben Gaſe von ſich, und zerfallen endlich in eine erdartige Maſſe. Auf dieſem Wege kehrt das Organiſche ins Reich des Unorganiſchen zurück, wird von Pflanzen als Nahrung aufgenommen, und in deren Subſtanz verwandelt, damit es den Kreislauf der Natur von Neuem beginne. Indeß laſſen ſich organiſche Körper, ſelbſt nachdem das Leben entwichen iſt, bei zweckmäßiger Behandlung unverſehrt erhalten, wenn man die Bedingungen der Gährung entfernt hält, und fäulnißwidrige Mittel anwendet. Dergleichen ſind: Ammoniak, Eiſenvitriol, Eſſigſäure, Wein-

geiſt, Harze, Kohlenſtoff, Arſenik ꝛc. Hieraus begreift man die Bereitung des Bundmoſtes, des Wermuthweines, warum ſich Holz in trockenem Zuſtande an einem luftigen Orte, Leichen in großer Kälte, in heißem Sande oder im Kalkboden ſo lange unverſehrt erhalten laſſen; ferner den Nutzen des Räucherns des Fleiſches, warum man hölzerne Pflöcke verkohlt, anatomiſche Präparate im Weingeiſte aufbewahrt, Thiere in Naturalienſammlungen mit Arſeniklöſung von innen wäſcht, Leichen einbalſamirt (Mumien) ꝛc.

Mehr hierüber muß man in chemiſchen Werken ſuchen, unter denen wir beſonders nennen zu müſſen glauben: Scholz, Lehrbuch der Chemie. Wien, 2. Auflage, 1829—1831. Grundzüge der allgemeinen und mediciniſchen Chemie nach den Angaben des Freiherrn J. v. Jacquin, redigirt von Dr. Jg. Gruber. Wien 1835. Berzelius Lehrbuch der Chemie, aus dem Schwediſchen überſetzt von F. Wöhler. Dresden 1825—1838. C. G. Gmelin's Einleitung in die Chemie. Tübingen 1835—1837. Mitſcherlich's Lehrbuch der Chemie. 3. Aufl. Berlin 1837. R. v. Spècz Grundriß der techniſchen Chemie. Wien 1837. Runge Einleitung in die techniſche Chemie für Jedermann. Berlin 1836. Desſelben techniſche Chemie der nützlichſten Metalle für Jedermann. Berlin 1838.

Zweiter Abſchnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

79. Bei der Erklärung des inneren Verlaufes der Erſcheinungen der Körperwelt werden wir zuletzt zur Annahme von Kräften geführt, deren allgemeiner Charakter darin beſteht, daß ſie eine Bewegung wirklich hervorbringen, oder doch hervorzubringen ſuchen (10). Jede ſolche Kraft hat zwar eine eigene Wirkungsweiſe, doch gibt es allgemeine Geſetze, an welche alle Kräfte gebunden ſind, und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erſcheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirkſamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder einen Widerſtand, der dieſelbe Wirkung zu Folge hat, wie eine Gegenkraft, aufgehoben wird, iſt Bewegung; iſt ihre Wirkung gehemmt, ſo herrſcht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zuſammen machen die Mechanik aus.

Erſtes Kapitel.

Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte.

80. Bei jeder Kraft kommt in Betrachtung: 1) ihr Angriffspunkt, d. i. der Punkt, auf den ſie unmittelbar wirkt; 2) ihre Richtung, d. i. die gerade Linie, nach der die Kraft den Angriffspunkt fortzutreiben ſucht; 3) ihre Größe. Der Angriffspunkt, wie auch die Richtung einer Kraft, wird durch dieſelben Hilfsmittel beſtimmt, welche die Geometrie zur Angabe der Lage eines Punktes und einer geraden Linie im Raume darbietet. Wie ſich die Kräfte durch Zahlen ausdrücken und numeriſch mit einander vergleichen laſſen, iſt aus 20 bekannt. Daß man dieſelben demnach auch durch Linien ausdrücken könne, iſt für ſich klar. In dieſem Falle können durch dieſe Linien zugleich die Richtungen der Kräfte angedeutet werden. Entgegengeſetzte Richtungen werden da, wo man die Kräfte durch Zahlen angibt, durch die Zeichen + und — unterſchieden. Kräfte, die nach einerlei Geſetz wirken, heißen gleichartige, jene, deren Wirkungsgeſetze verſchieden ſind, ungleichartige.

81. Wenn mehrere gleichartige Kräfte, die nicht im Gleichgewichte ſind, auf einen Punkt wirken, ſo iſt immer eine einzige denkbar,

welche, der Wirkung nach, allen zuſammengenommen gleich iſt, da der Punkt ſeine Bewegung doch nur nach Einer Richtung, alſo gerade ſo, als ob er von einer einzigen Kraft getrieben würde, zu beginnen vermag. Dieſe Kraft nennt man die Reſultirende, jene Kräfte die Componenten. Eben ſo kann man ſich ſtatt Einer Kraft immer mehrere denken, deren Wirkung der einzigen gleich kommt. Die Reſultirende mehrerer Kräfte finden, heißt letztere zuſammenſetzen; ſtatt Einer Kraft mehrere, ihr gleichgeltende Kräfte ſetzen, heißt ſie zerlegen.

82. Wenn mehrere Kräfte auf einen Punkt nach derſelben Richtung wirken, ſo iſt die Reſultirende gleich der Summe aller einzelnen Kräfte, und ihre Richtung ſtimmt mit jener der einzelnen Kräfte überein. Wirken zwei Kräfte auf einen Punkt nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt die Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede, und ihre Richtung ſtimmt mit jener der größeren Kraft überein. Dieſe Sätze ergeben ſich ſchon aus dem Begriffe von der Größe einer Kraft.

83. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q einen Winkel einſchließen, ſo können ſie nicht im Gleichgewichte ſtehen. Denn es ſey A (Fig. 6) der Angriffspunkt, AB die Richtung der Kraft P, AC die der Kraft Q, und man ſetze, ſie ſeyen im Gleichgewichte. Verlängert man BA nach D, und denkt ſich nach der Richtung AD eine der P entgegengeſetzte Kraft R angebracht; ſo iſt dieſe Kraft die Reſultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beſchaffen ſeyn, alſo auch, wenn R = P iſt. In letzterem Falle kann man aber, weil P und R einander aufheben, auch Q als die Reſultirende von P, Q und R betrachten. Es müßte daher von den zwei Kräften Q und R die eine genau das leiſten, was die andere leiſtet, welches abſurd iſt. Es halten daher die Kräfte P, Q einander nicht das Gleichgewicht, ſondern ſie haben eine Reſultirende. Die Richtung derſelben fällt offenbar in die Ebene des Winkels BAC zwiſchen AB und AC.

84. Zwei gleiche Kräfte, deren Richtungen einen Winkel BAC (Fig. 7) einſchließen, haben eine Reſultirende, deren Richtung AD den Winkel BAC halbirt; denn es iſt kein Grund vorhanden, warum letztere Richtung näher an der Richtung der einen als der anderen Kraft liegen ſollte.

85. Der Angriffspunkt A einer Kraft P, deren Richtung AE iſt (Fig. 8), kann ohne Aenderung der Wirkung in jeden anderen Punkt D verſetzt werden, der in der wie immer verlängerten Geraden AE liegt, und mit A unveränderlich verbunden iſt. Denn denkt man ſich in D zwei gleiche und entgegengeſetzte Kräfte P′ und P″, wovon erſtere die Richtung DA, letztere die Richtung DE hat, ſo bleibt die Wirkung von P dieſelbe, wie die aller drei Kräfte. Iſt überdieß noch $P = P' = P''$, ſo heben ſich P und P′ auf, es bleibt P″ übrig, und die Wirkung iſt wie im Anfange. — Wenn man den Angriffspunkt irgend wohin, z. B. nach C, außer der Richtung AE verſetzte, ſo würde ein ganz anderer Erfolg Statt finden; denn brächte P in C dieſelbe Wirkung hervor, wie in D oder A, ſo müßte Gleichgewicht herrſchen, wenn die Kraft P in A oder in D nach einer, und in C nach der entgegen-

geſetzten Richtung wirkte. In dieſem Falle würde aber eine drehende Bewegung erfolgen. Man darf daher den Angriffspunkt einer Kraft nie aus ihrer Richtung verſetzen, und kann von einem Punkte, von dem man weiß, daß man den Angriffspunkt einer Kraft dahin verſetzen darf, mit Grund behaupten, er liege in der Richtung der Kraft.

86. Die Richtung der Reſultirenden von zwei Kräften P und Q, die auf den Punkt A (Fig. 9) wirken, und deren Richtungen A x und A y ſind, iſt durch die Diagonale A B des Parallelogramms A C B D gegeben, deſſen Seiten A C und A D ſich verhalten wie P zu Q, und welches deßhalb Kräftenparallelogramm heißt. Der Beweis dieſes Satzes, den zuerſt Duchayla auf ähnliche Art vortrug, wie hier geſchieht, beſteht aus drei Theilen, deren erſter ſich auf gleiche, der zweite auf ungleiche aber commenſurable, der dritte auf incommenſurable Kräfte bezieht.

I. Sind A x und A y (Fig. 9) die Richtungen der Kräfte P und Q, und iſt P = Q, ferner A z die Richtungen ihrer Reſultirenden; ſo hat man x A z = y A z (84). Iſt nun B ein Punkt in A z, und man zieht B C mit A y, B D mit A x parallel; ſo iſt A C B D ein Parallelogramm, in welchem A C = A D iſt, welche Seiten ſich demnach verhalten wie die Kräfte P und Q. Der Satz iſt alſo für gleiche Kräfte wahr.

II. Sind die Kräfte P und Q, wovon die erſte die Richtung A x (Fig. 10), die andere die Richtung A y hat, ungleich, ſo ſetze man P = p + p′, und denke ſich ſtatt P in A zwei Kräfte p und p′ nach der Richtung A x angebracht. Iſt A z die Richtung der Reſultirenden von p und Q; ſo kann man in ihr was immer für einen Punkt B annehmen, und dahin den Angriffspunkt der Reſultirenden verſetzen. Weil aber dieſe Reſultirende den Kräften p und Q an Wirkung gleich kommt, ſo kann man erſtere, in ſofern man ſie auf B unmittelbar einwirkend denkt, in p und Q zerlegen. Zieht man daher B x′ mit A x und B y′ mit A y parallel, ſo iſt es einerlei, ob p und Q nach den Richtungen A x und A y auf A, oder nach den Richtungen B x′ und B y′ auf B wirken. Man verlängere B y′ bis C, verſetze den Angriffspunkt der Kraft Q nach C, verlege eben dahin den Angriffspunkt der Kraft p′; ſo iſt C der Angriffspunkt der zwei Kräfte p′ und Q. Iſt wieder C z′ die Richtung ihrer Reſultirenden, ſo kann man ſich ihren Angriffspunkt dorthin verſetzt denken, wo ſie mit B x′ zuſammentrifft, und den Durchſchnittspunkt D als Angriffspunkt der Kräfte p′ und Q betrachten. Weil ſich aber auch der Angriffspunkt der Kraft p nach D verſetzen läßt, ſo iſt D der gemeinſchaftliche Angriffspunkt der Kräfte p, p′ und Q, oder der Kräfte P und Q, oder ihrer Reſultirenden. Es muß daher D in der Richtung der Reſultirenden von P und Q liegen (85), und dieſe Richtung ſelbſt A D ſeyn. Zieht man D E parallel mit A y und verlängert B x′ bis F, ſo iſt A D die Diagonale des Parallelogramms A E D F. Es iſt nun noch zu beweiſen, daß wenigſtens, in ſofern die Kräfte P und Q commenſurabel ſind, A E D F das Kräftenparallelogramm ſey, oder daß ſich die Seiten A E, A F wie P zu Q ver-

halten. Denn nehmen wir an, man habe bereits erkannt, daß ſich verhalten

$$AC : AF = p : Q$$
$$\text{und} \quad CE : CB = p' : Q,$$

oder mit andern Worten, daß der zu beweiſende Satz für die Kräfte p und Q, und eben ſo für die Kräfte p' und Q gelte, ſo gilt er auch, weil aus obigen zwei Proportionen, wegen

$$AC + CE = AE, \; AF = CB, \; p + p' = P$$

die Proportion

$$AE : AF = P : Q$$

folgt, auch für die Kräfte $p + p' = P$ und Q.

Da nun nach I. der erwähnte Satz gilt, wenn man $Q = p$ und $p' = p$ ſetzt, ſo gilt er auch für die Kräfte $P = 2p$ und $Q = p$. Setzt man jetzt, durch das ſo eben Bewieſene dazu berechtiget, $p' = 2p$, während $Q = p$ bleibt, ſo folgt die Gültigkeit des Satzes ſogleich für die Kräfte $P = 3p$ und $Q = p$. Auf dieſem Wege ſtufenweiſe fortfahrend, wird man die Richtigkeit des Satzes auch für den Fall erweiſen, wenn $P = np$, $Q = p$ iſt, wobei n irgend eine ganze Zahl vorſtellt. Nimmt man jetzt $Q = np$, $p' = p$, ſo folgt die Richtigkeit des Satzes für die Kräfte $P = 2p$ und $Q = np$; nun kann man $p' = 2p$, $Q = np$ ſetzen, und mit Hülfe der eben angedeuteten Schlußform die Gültigkeit des Satzes auf den Fall $P = 3p$, $Q = np$ ausdehnen u. ſ. w., und ſo endlich die Gültigkeit desſelben auch für $P = mp$, $Q = np$ rechtfertigen, wobei m ebenfalls eine ganze Zahl iſt. Es gilt alſo der Satz, wenn $P : Q = m : n$ iſt, d. h. wenn ſich die Kräfte P, Q wie ganze Zahlen verhalten, nämlich commenſurabel ſind.

III. Es ſey A (Fig. 11) der Angriffspunkt der zwei incommenſurablen Kräfte P und Q, deren Richtungen und Größen durch AB und AC vorgeſtellt werden, und man nehme an, daß die Richtung ihrer Reſultirenden eine andere ſey, als die der Diagonale AD des Parallelogramms ABDC, z. B. daß dieſe Reſultirende die Richtung AE habe. Man ziehe durch E die mit CD Parallele EF, und denke ſich AB in gleiche Theile getheilt, deren jeder kleiner iſt als FC, ſo daß, wenn ſie von A aus auf AC übertragen werden, ein Theilungspunkt zwiſchen F und C nach G fällt. Denkt man ſich nun mit P zugleich ſtatt der Kraft Q nach der Richtung AC eine Kraft auf A wirkend, deren Größe durch AG vorgeſtellt werde, ſo muß, da AG und AB commenſurable Kräfte ſind, ihre Reſultirende die Richtung der Diagonale AH haben, wenn GH mit AB parallel gezogen worden iſt. Es kann aber wegen $AC = AG + GC$ die Reſultirende der Kräfte AB, AC auch als die Kraft betrachtet werden, welche aus dem Zuſammenwirken der nach AH gerichteten Reſultirenden der Kräfte AB, AG mit einer nach AC gerichteten Kraft, deren Größe GC iſt, hervorgeht; die Richtung dieſer Reſultirenden muß demnach zwiſchen AH und AC fallen, und kann alſo nicht AE ſeyn. Da ſich auf gleiche Weiſe dasſelbe für jeden anderen Punkt außer D zeigen läßt; ſo kann die Reſultirende keine andere Richtung haben, als die der Diagonale AD von ABDC.

87. Die Reſultirende der Kräfte P und Q wird auch der Größe nach durch die Länge der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte vorgeſtellt. Es ſeyen AB und AC (Fig. 12) die Kräfte P und Q, AD die Richtung ihrer Reſultirenden, R ihre Größe, AE die Richtung und Größe einer Kraft R', welche der Kraft R gleich und entgegengeſetzt iſt; ſo iſt offenbar zwiſchen den Kräften P, Q, R' Gleichgewicht. Conſtruirt man mit AE und AC das Parallelogramm AEFC; ſo iſt AF die Richtung der Reſultirenden S von AE und AC, und es muß auch zwiſchen P und S Gleichgewicht herrſchen, d. i. es muß FAB eine gerade Linie ſeyn. Man hat daher EAF = BAD, ferner iſt FEA = ADB, EF = BD, mithin auch AE = AD; aber es iſt AE = R, mithin auch AD = R.

88. Nach der früher gelehrten Methode kann man auch von mehreren Kräften, die einen gemeinſchaftlichen Angriffspunkt haben und nach verſchiedenen Richtungen wirken, die Reſultirende finden. Wären z. B. P, P', P'' die Kräfte (Fig. 13), A ihr Angriffspunkt, AB, AC, AD ihre Richtungen und Größen; ſo ziehe man BF der AC parallel und gleich, eben ſo FG der AD parallel und gleich, und es iſt AG die Reſultirende aller gegebenen Kräfte.

89. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zuſammen an Wirkung gleich kommen. Um nämlich eine Kraft zunächſt in zwei Kräfte zu zerlegen, darf man ſie nur als Diagonale eines Parallelogramms betrachten. Die in dem Angriffspunkte derſelben zuſammenſtoßenden Seiten des Parallelogramms geben die Richtungen, und Größen der geſuchten Kräfte an. Hiebei ſind die Richtungen, oder die Größen beider Kräfte, oder die Richtung der einen und die Größe der andern, innerhalb gewiſſer, durch die Möglichkeit das Parallelogramm zu verzeichnen bedingter Grenzen willkürlich, und können daher nach Belieben gewählt werden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder ſo verfährt, zerlegt man erſtere in jede beliebige Anzahl von Kräften.

90. Sollen Kräfte, die einerlei Angriffspunkt haben, mit einander im Gleichgewichte ſtehen; ſo muß ſtets eine von ihnen der Reſultirenden der übrigen gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Zwei ſolche Kräfte ſtehen daher nur dann mit einander im Gleichgewichte, wenn eine der anderen gleich und gerade entgegengeſetzt iſt; bei drei ſolchen Kräften muß die eine der Reſultirenden der zwei anderen gleich und gerade entgegengeſetzt ſeyn.

91. Der Satz 86 läßt ſich auch auf die Zuſammenſetzung von Kräften anwenden, die in derſelben Ebene wirken und verſchiedene Angriffspunkte haben, wenn dieſe nur unveränderlich mit einander verbunden ſind. Es ſeyen A und B (Fig. 14) die Angriffspunkte der Kräfte P und Q, welche der Größe und Richtung nach durch die divergirenden Linien AC und BD vorgeſtellt werden. Man verlängere dieſe Linien, bis ſie ſich in E ſchneiden, verſetze den Angriffspunkt jeder der Kräfte dahin, mache EC' = AC, ED' = BD, conſtruire das Parallelogramm EC'FD'; ſo iſt EF die Reſultirende von P und Q. Zieht

man von einem beliebigen Punkte G der Richtung der EF, die auf EC und ED Senkrechten GH und GK, und verbindet man H mit K, ſo läßt ſich um das Viereck EHGK wegen der rechten Winkel bei H und K ein Kreis beſchreiben, wovon HG eine Sehne wird, deßhalb ſind die Winkel HEG und HKG gleich; ferner ſind die Winkel EC′F, HGK gleich, da die Schenkel des einen auf jenen des andern ſenkrecht ſtehen, und beide Winkel von einerlei Art ſind; es ſind daher die Dreiecke EC′F, HGK ähnlich. Hieraus folgt die Proportion

$EC' : C'F = GK : GH$ oder wegen $C'F = ED'$, $P : Q = GK : GH$.

Man kann daher ſagen: Die Kräfte P und Q verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten, welche von irgend einem Punkte der Reſultirenden auf die Richtungen dieſer Kräfte gezogen werden. Nennt man die durch die Diagonale EF vorgeſtellte Reſultirende R, ſo gibt die Aehnlichkeit der erwähnten Dreiecke $P : Q : R = GK : GH : HK$.

In dem Dreiecke EC′F iſt $EC' : C'F : EF = \sin. C'FE : \sin. C'EF : \sin. EC'F$,
daher wegen $C'FE = BEG$ und $EC'F = 180^\circ - AEB$,
$$P : Q : R = \sin. BEG : \sin. AEG : \sin. AEB.$$
Es iſt alſo jede der Kräfte P, Q, R dem Sinus des Winkels, den die Richtungen der zwei anderen bilden, proportionirt.

92. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen und nach derſelben Gegend hin wirkende Kräfte, A und B (Fig. 15) ihre unveränderlich verbundenen Angriffspunkte, die in der Geraden AB liegen, AC und BD ihre Richtungen und Größen; ſo kann man ohne Aenderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengeſetzte Kräfte, deren Richtungen in die Linie AB fallen, anbringen. Sind AE und BF dieſe Kräfte, ſo ſetze man AE mit AC, BF mit BD zuſammen, und finde ihre Reſultirenden AG und BH, indem man die Parallelogramme AEGC und BFHD conſtruirt. Verlängert man die Richtungen letzterer, bis ſie ſich in K ſchneiden; ſo kann K, in ſofern dieſer Punkt mit A und B unveränderlich verbunden gedacht wird, den gemeinſchaftlichen Angriffspunkt der Kräfte AC, AE und BD, BF vorſtellen. Nimmt man nämlich $KL = AG$, $KM = BH$, und zieht Kx parallel mit AC, yKz parallel mit AB; ſo kann man KL in die Kräfte $KO = AE$ und $KN = AC$ zerlegen. Aehnliches iſt mit KM geſtattet, und man bekommt $KS = BF$ und $KR = BD$. Da aber KO und KS ſich als gleiche und entgegengeſetzte Kräfte aufheben, ſo bleibt als Reſultirende $KN + KR = P + Q$. Sie iſt daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte, und wirkt mit ihnen parallel. Zur Beſtimmung ihrer Richtung hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEG, ATK, dann der Dreiecke BFH, BTK

$$AE : EG = AT : TK,$$
$$BF : FH = BT : TK, \text{ mithin}$$
$$EG : FH = BT : AT, \text{ d. i. } P : Q = BT : AT.$$

Die Richtung der Reſultirenden theilt daher die gegenſeitige Entfernung der Angriffspunkte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältniſſe ſtehen. Da die Beſtimmung des Punktes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit AB machen; ſo

muß dieſer Punkt derſelbe bleiben, wenn ſich die Richtungen von P und Q um ihre Angriffspunkte drehen. Deßhalb heißt der Punkt T der **Mittelpunkt** der parallelen Kräfte. — Es iſt für ſich klar, daß man durch ein dem vorigen ähnliches Verfahren von mehreren parallelen Kräften die Reſultirende finden, ja auch jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler Kräfte auflöſen könne, deren Summe der gegebenen Kraft gleich iſt.

93. Wirken die Kräfte P und Q einander parallel, aber nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt ihre **Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede**, wirkt mit der größeren Kraft nach einerlei Gegend, und ihre Richtung ſchneidet die Verbindungslinie der Angriffspunkte der Kräfte nach demſelben Verhältniß, wie in 92 geſagt wurde. Man kann dieſen Satz durch die dort angewandte Conſtruction beweiſen, oder auch ihn, wie folgt, auf den früheren zurückführen. Es ſeyen (Fig. 16) AB und CD die Richtungen der Kräfte P und Q, A und C ihre Angriffspunkte, und es werde $P < Q$ vorausgeſetzt. Man kann ſich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine P′, deren Richtung Ab ſey, der P gleich und entgegengeſetzt iſt, während die andere, die R heißen mag, und deren Größe und Angriffspunkt noch unbekannt iſt, in E angebracht ſey und längs EF mit Q parallel wirke. Da ſich P und P′ aufheben, ſo bleibt nur $EF = R$ übrig; es iſt daher R die Reſultirende der Kräfte P, Q, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$. Da $P' : R = CE : AC$ (92), und daher $P : P + R = CE : CE + AC$, mithin $P : Q = CE : AE$ iſt; ſo gilt auch hier das obige Geſetz der Lage des Angriffspunktes der Reſultirenden. Auch da iſt E unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen AC, mithin wieder ein **Mittelpunkt** der Kräfte. — Wenn $P = Q$ iſt, kann die Reſultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der anderen Kraft haben, weil zu beiden kein Grund vorhanden iſt. In dieſem Falle **kann es daher keine Reſultirende geben**. Dieſes folgt auch aus Obigem; denn es wird

$$P : 0 = CE : AC, \text{ d. i. } CE = \frac{P . AC}{0} = \infty.$$

94. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Punkte auf die Richtung dieſer Kraft gezogen worden, heißt ihr **Moment** in Beziehung auf dieſen Punkt. Liegt der Punkt, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Reſultirenden zweier Kräfte, ſo ſind ihre Momente einander gleich. Denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel ſind, wie Fig. 14, ſie mögen nun einen gemeinſchaftlichen Angriffspunkt haben oder nicht, iſt in Bezug auf jeden Punkt G der Richtung der Reſultirenden immer

$$P . GH = Q . GK \quad (91).$$

Sind die Kräfte parallel, wie in 92 angenommen wurde, ſo gilt für ſie daſſelbe Geſetz; denn es ſeyen P und Q zwei ſolche Kräfte, A und B (Fig. 17) ihre Angriffspunkte, AC und BD ihre Richtungen, EF die Richtung der Reſultirenden, welche AB in G ſchneidet. Iſt nun H ein Punkt, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, ſo

ziehe man HI, HK auf AC und BD ſenkrecht, ferner LM durch H mit AB parallel, und man hat:

$$P : Q = BG : AG = HM : HL,$$

ferner wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke LHI, KHM,

$$HM : HL = HK : HI, \quad \text{mithin}$$

$$P : Q = HK : HI \quad \text{oder} \quad P \,.\, HI = Q \,.\, HK.$$

95. Man kann dieſen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein innerhalb des Winkels der Richtungen zweier Kräfte befindlicher Punkt, für den die Momente der Kräfte gleich ſind, in der Richtung ihrer Reſultirenden liegen muß. Es ſeyen P und Q zwei Kräfte (Fig. 18), A und B ihre Angriffspunkte, AC und BD ihre Richtungen, und es werde vorausgeſetzt, daß für den Punkt E, wovon auf AC und BD die Senkrechten EF und EG gezogen ſind, P . EF = Q . EG ſey. Soll die Reſultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, ſo gehe ſie durch H. Man verlängere AC und BD bis ſie ſich in K ſcheiden, ziehe KH, welche die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P, Q ſeyn wird, ferner HL ſenkrecht auf KC, und man hat P.HL = Q.HG (94). Aus dieſer Gleichung und aus der Vorausſetzung folgt EF : HL = EG : HG; es müßten daher die Dreiecke EFG, HLG, deren bei E und H liegende Winkel gleich ſind, einander ähnlich ſeyn, und deßhalb wären auch die Winkel FGE, LGE gleich, welches abſurd iſt. Sind die Richtungen der Kräfte P, Q einander parallel, iſt ferner H (Fig. 17) ein Punkt von der Eigenſchaft, daß die Gleichung P.HI = Q.HK beſteht, ſo geht die Richtung der Reſultirenden genannter Kräfte durch H; denn ginge ſie durch den Punkt H′ der IK, ſo wäre auch P.H′I = Q.H′K, mithin HI : H′I = HK : H′K, was ungereimt iſt, weil HI < H′I und zugleich HK > H′K.

96. Soll ein Syſtem von Kräften, die zwar verſchiedene, aber unveränderlich mit einander verbundene Angriffspunkte haben, im Gleichgewichte ſtehen; ſo muß eine der Kräfte der Reſultirenden der übrigen gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Iſt ein Punkt dieſes Syſtems unbeweglich, ſo muß durch dieſen die Reſultirende aller Kräfte gehen; ſtützt es ſich auf eine ebene oder gekrümmte Fläche, längs welcher es hingleiten kann, ſo muß die Richtung der Reſultirenden auf dieſer Fläche ſenkrecht ſtehen, und falls ſich das Syſtem und dieſe Fläche nur an einem Punkte berühren, durch dieſen Punkt gehen; berühren ſie ſich in zwei Punkten, ſo muß die Reſultirende in die gerade Linie fallen, welche dieſe zwei Punkte verbindet; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten ein, ſo darf die Reſultirende die Fläche nicht außerhalb des durch die Berührungspunkte bezeichneten Polygons treffen. Es geht aus der Natur der Sache hervor, daß unter dieſen Bedingungen die Reſultirende der Kräfte durch den Widerſtand aufgehoben werde, daß aber in jedem anderen Falle eine fortſchreitende oder drehende Bewegung eintreten müſſe.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper.

97. Unter allen Naturkräften ſpielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deßhalb ſollen auch ihre Geſetze zuerſt aus den allgemeinen Geſetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört dieſe Kraft in die Claſſe der anziehenden Kräfte, und iſt jedem materiellen Theilchen eigen (30). Aus Beobachtungen an Himmelskörpern hat man abſtrahirt, daß dieſe Kraft von der materiellen Verſchiedenheit der Körper ganz unabhängig iſt, und allein im geraden Verhältniſſe mit der Maſſe des anziehenden Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung der anziehenden und angezogenen Maſſe zunimmt. Iſt P die Kraft, welche die Maſſe M auf einen materiellen Punkt in der Entfernung D ausübt, p diejenige, womit die Maſſe m auf denſelben Punkt in die Entfernung d wirkt, ſo hat man $P:p = \frac{M}{D^2} : \frac{m}{d^2}$. Setzt man $m = 1$, $d = 1$; ſo iſt p die Kraft, womit die Maſſe $= 1$ auf genannten Punkt in die Entfernung $= 1$ wirkt, und man hat $P = p \cdot \frac{M}{D^2}$. In dieſer Formel bedeutet jedoch M eine Maſſe von ſo geringer Ausdehnung, daß es gleichgiltig iſt, von welchem ihrer Punkte man die Entfernung D mißt; ſie kann alſo an und für ſich nur ein Elementartheilchen vorſtellen, wenn das Reſultat der Rechnung, nach dieſem Ausdrucke, ganz ſcharf ſeyn ſoll. Hat daher die anziehende Maſſe eine angebbare Ausdehnung, ſo muß man für jeden Punkt derſelben eine ſolche Gleichung aufſtellen, die Kraft, welche von jedem Punkte ausgeht, finden, und aus allen dieſen Kräften die Reſultirende berechnen.

98. Wir wollen dieſes auf die Erde anwenden und durch AB (Fig. 19) einen Querſchnitt derſelben vorſtellen, welcher durch den außer ihr liegenden, angezogenen Punkt a geht. Jedes innerhalb AB liegende Theilchen m, m′, m″ ſucht den Punkt a nach den Richtungen am, am′, am″ ꝛc. und mit der Kraft $p \cdot \frac{m}{am^2}$, $p \cdot \frac{m'}{am'^2}$, $p \cdot \frac{m''}{am''^2}$ ꝛc. an ſich zu ziehen. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte gibt die Anziehungskraft der ganzen in dieſem Querſchnitte der Erde liegenden Maſſe an. Dasſelbe wird mit den Elementartheilen der Erde der Fall ſeyn, welche in einem anderen durch a gehenden Querſchnitte derſelben liegen, und die Reſultirende aller dieſer reſultirenden Kräfte gibt die geſammte Anziehung, welche die Erde auf a ausübt. Die Richtung dieſer Kraft muß offenbar in die Linie fallen, welche von allen Seiten ſymmetriſch von der Maſſe der Erde umgeben iſt. Hat daher die Erde die Geſtalt einer Kugel, ſo iſt jeder Querſchnitt, wie AB, ein Kreis, und wenn ſie durchaus oder doch in gleichen Entfernungen vom Centrum gleich dicht iſt, ſo iſt die von a nach ihrem Centrum C gezogene gerade Linie von der genannten Art, und zeigt daher die Richtung der reſultirenden

Anziehung an. Man kann überdieß noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Vorausſetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Maſſe, welche Vorausſetzungen von der Wahrheit nicht ſtark abweichen und in den meiſten Fällen hinreichend genaue Reſultate gewähren, ſo erfolge, als wäre ihre ganze Maſſe in ihrem Mittelpunkte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punkt a gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p \cdot \frac{M}{D^2}$ bezeichnet wird, wo p die vorher angenommene Bedeutung hat, M aber die Maſſe der Erde, und D die Entfernung des Punktes a vom Erdmittelpunkte bezeichnet. Was mit dem Punkte a erfolgt, geſchieht auch mit jedem anderen nach Maßgabe ſeiner Entfernung von dem Erdmittelpunkte. Betrachtet man alſo die Wirkung der Erde auf einen Körper, d. h. auf ein Aggregat von Punkten; ſo kann man ſich vorſtellen, als würde jeder derſelben nach ihrem Centrum hingezogen. Die Richtungen, nach welchen dieſe Punkte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Mittelpunkte hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmeſſers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, alle dieſe Kräfte wirken nach parallelen Richtungen, und kann jeden ſchweren Körper als ein Syſtem von Angriffspunkten parallel wirkender Kräfte betrachten. Dieſe Kräfte ſind nur in ſo ferne für alle Punkte gleich groß, als dieſe eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieſes iſt bei keinem Körper ſtreng genommen der Fall. Für die oberen Punkte iſt dieſe Entfernung ſtets größer als für die unteren, ja ſelbſt für die neben einander in horizontaler Richtung liegender iſt ſie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten, und erlaubt, alle Punkte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Erdmittelpunkte entfernt anzunehmen und ſich demnach vorzuſtellen, jeder Punkt eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte an einem Körper ſtellt deſſen Gewicht vor, der Mittelpunkt derſelben (92) heißt ſein Schwerpunkt. Hieraus iſt leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich ſchwer ſind, und daß die weiter davon entfernten leichter ſind, als die näheren. Befindet ſich ein Körper innerhalb der Erde, ſo wirken einige Theile derſelben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgeſtellte Geſetz der Schwere geändert, und es wächſt dieſelbe nicht mehr im verkehrten quadratiſchen, ſondern im directen einfachen Verhältniſſe der Entfernung vom Mittelpunkte. Eigentlich ſollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieſelben als das Reſultat einer gegenſeitigen Anziehung zwiſchen der Erde und den Körpern auf ihr anſehen; allein auch dieſes erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Maſſe, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechſelſeitigkeit der Anziehung ganz abſehen.

99. Jeder Körper, deſſen Theile unveränderlich mit einander verbunden ſind, aber auch nur ein ſolcher, hat einen Schwerpunkt; denn nur bei Kräften mit unveränderlich verbundenen Angriffspunkten gibt es einen Mittelpunkt. Daher kann man nur bei feſten Körpern von einem Schwerpunkte ſprechen, flüſſige haben nur in ſo ferne einen, als ſie ſich in Gefäßen befinden und als feſte Maſſen betrachtet werden können. Man kann ſich vorſtellen, daß in ihm das ganze Gewicht des Körpers vereinigt ſey. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, welche einen Mittelpunkt der Figur haben, muß der Schwerpunkt in dieſem liegen, bei ungleichförmig dichten hingegen mehr gegen die dichteren Theile zu; bei manchen Körpern, z. B. bei Ringen, liegt er ganz außerhalb der Maſſe.

100. Man beſtimmt den Schwerpunkt durch Verſuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegſamen Faden, ſo liegt ſein Schwerpunkt offenbar in deſſen Verlängerung. Wird ein Körper hinter einander an zwei verſchiedenen, einander nicht gerade entgegengeſetzten Stellen an einem Faden befeſtiget aufgehängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; ſo iſt der Durchſchnittspunkt dieſer beiden Richtungen der Schwerpunkt des Körpers. Auf dieſe Weiſe wird meiſtens der Schwerpunkt beſtimmt; man zieht ſie oft ſogar der Rechnung vor, weil dieſe eine Gleichheit der Dichte an Körpern vorausſetzt, welche in der Erfahrung ſelten Statt findet, und auch Kenntniſſe der Integralrechnung fordert. Indeſſen gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunkt eines Dreieckes iſt eigentlich der aller ſchweren in ihm enthaltenen Punkte. Jeder Punkt liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreieckes parallel gezogen iſt, und alle in einer ſolchen Linie befindlichen Punkte haben ihren Schwerpunkt in der Mitte dieſer Linie. Alle Halbirungspunkte der mit einer Dreieckſeite parallelen Linien liegen wieder für ſich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreiecke ABC (Fig. 20) AD und BE, ſo daß $BD = DC$ und $AE = EC$ iſt; ſo muß der Schwerpunkt des Dreieckes ſowohl in AD als in BE, mithin in ihrem Durchſchnittspunkte F liegen. — Zur näheren Beſtimmung dieſes Punktes ziehe man ED, und man hat wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AFB mit EFD und ECD mit ACB

$AF:FD = AB:ED$, $AB:ED = AC:EC = 2:1$, mithin

$AF:FD = 2:1$ oder $AF:AD = 2:3$, d. i. $AF = \frac{2}{3} AD$.

Auf ähnliche Weiſe findet man den Schwerpunkt einer dreiſeitigen Pyramide. Durch jeden Punkt derſelben läßt ſich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel iſt, und letztere in einem Dreiecke ſchneidet. Der Schwerpunkt eines jeden dieſer Dreiecke läßt ſich nach obiger Methode finden, und die Schwerpunkte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Iſt daher in der Pyramide (Fig. 21) $AE = EC$ und $FB = \frac{2}{3} EB$, ſo liegt der Schwerpunkt der ganzen Pyramide in DF. Aus demſelben Grunde liegt der Schwerpunkt der Pyramide in BG, wenn $DG = \frac{2}{3} DE$ iſt, daher im Durchſchnitte H beider Linien. — Man ziehe GF, ſo hat man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke GHF, DHB, dann der Dreiecke EGF, EDB; $DH:HF = DB:GF$, $DB:GF = DE:EG = 3:1$, mithin $DH:HF = 3:1$ und $DH:DF = 3:4$ oder $DH = \frac{3}{4} DF$.

101. Hängen die Theile eines Körpers ſo zuſammen, daß ſie ſich durch ihr Gewicht nicht von einander trennen, wie dieſes bei den feſten Körpern größten Theils der Fall iſt; ſo braucht man nur ſeinen Schwerpunkt, den angegebenen Geſetzen gemäß, zu unterſtützen, um ſein Fallen zu verhindern. Hierauf beruhen die ſchiefen Thürme zu Piſa und Bologna, das Balanciren, die Haltung unſers Körpers beim Gehen, Sitzen, Aufſtehen, Laſttragen, die Künſte des chineſiſchen Burzelmannes, die Rolllampe u. ſ. w. Daß man den Schwerpunkt eines Körpers auf zweierlei Art unterſtützen kann, nämlich, indem man ihn aufhängt oder auf eine Unterlage ſtellt, iſt bekannt.

102. Nicht jeder Körper, der durch Unterſtützung ſeines Schwerpunktes gegen das Fallen geſchützt iſt, hat bei jeder Art der Unterſtützung und unter allen Umſtänden einen gleich ſichern Stand. Iſt die Lage eines Körpers ſo beſchaffen, daß ſein Schwerpunkt tiefer liegt, als bei jeder anderen, in die er durch geringe Verrückung verſetzt werden kann; ſo wird er ſelbſt dann, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewiſſen Grenze aus dieſer Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man ſagt, er ſey im **ſtabilen** Gleichgewichte. Hat ſein Schwerpunkt einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt; ſo kehrt er in dieſe ſeine Lage nicht mehr zurück, ſobald man ihn durch eine auch noch ſo kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er ſey im **labilen** Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile ſeiner Maſſe unterſtützt iſt, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat ſtets ein ſtabiles Gleichgewicht; ein von unten an einem Punkte unterſtützter Körper kann in ſtabilem oder labilem Gleichgewichte ſeyn. Man denke ſich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieſes ſo auf einem Tiſche, daß ſeine größere Axe horizontal iſt, ſo hat es eine ſtabile, wenn aber dieſe Axe vertical ſteht, eine labile Lage. Ein von unten unterſtützter Körper, der ſeine Unterlage in wenigſtens drei Punkten, die nicht in einer Geraden liegen, berührt, iſt ſtets in ſtabilem Gleichgewichte oder hat **Stabilität**. Bringt man einen ſtabilen Körper mehr und mehr aus ſeiner Lage, ſo gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil iſt; durch fortgeſetztes Neigen kommt er wieder in eine ſtabile Lage, und ſo folgt ſtets auf einen ſtabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewichte ſteht, in jeder Zwiſchenlage muß er aber fallen. Man kann ſich dieſes leicht durch einen Würfel verſinnlichen. Um einen ſolchen Körper aus einer ſtabilen Lage nach einer gewiſſen Seite hin zu drehen, braucht man eine gewiſſe Kraft, welche die **Größe ſeiner Stabilität** nach dieſer Seite hin angibt. Um dieſe Kraft zu beſtimmen, ſey M (Fig 22) ein Körper, der auf der Horizontalen EF ruht und ſeinen Schwerpunkt in G hat. Das Gewicht dieſes Körpers ſey P, die Kraft, welche ihn um die Kante D zu drehen ſucht, heiße Q, und ihre Richtung, die horizontal angenommen wird, werde durch HG vorgeſtellt. Die Reſultirende dieſer zwei Kräfte darf für den Fall des Gleichgewichtes nicht über die

Baſis CD hinausfallen, und es wird die Kraft Q der Stabilität gleich ſeyn, wenn die Reſultirende von P und Q durch D geht. Zieht man von D auf die verlängerte HG die Verticale DI, und läßt auch von G die Verticale GK herab, ſo ſind P.DK und Q.DI = Q.KG die Momente der Kräfte in Beziehung auf einen Punkt der Kante D, und man hat

$$P \cdot DK = Q \cdot KG \text{ oder } Q = P \cdot \frac{DK}{KG},$$

d. i. die Stabilität eines Körpers iſt deſto größer, je größer ſein Gewicht iſt, je tiefer ſein Schwerpunkt liegt und je weiter er von der Kante entfernt iſt, um die er gedreht wird. Nach dieſem Geſetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belaſteter Wägen, ſelbſt der mehr oder weniger feſte Stand eines Menſchen beurtheilt.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen.

103. **Maſchine** heißt jede Vorrichtung, mittelſt welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punkt wirkt. Gewöhnlich iſt damit auch eine Aenderung in der Größe der Wirkſamkeit dieſer Kraft verbunden. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Bewegung des Punktes, worauf dieſelbe mittelſt der Maſchine wirken ſoll, ein Hinderniß entgegenſtehe, weil ſonſt kein Grund vorhanden wäre, die Maſchine anzuwenden. Dieſes Hinderniß läßt ſich ſtets als eine Gegenkraft betrachten, welche in Bezug auf erſtere, die hier vorzugsweiſe **Kraft** heißt, die **Laſt** genannt wird. Es kommen daher bei jeder Maſchine wenigſtens dieſe zwei Kräfte in Betrachtung. Um die Vermittlung der Maſchine zwiſchen der Kraft und Laſt einzuſehen, denke man ſich die Kraft ſo gewählt, daß ſie der Laſt das Gleichgewicht hält. Das Verhältniß, in welchem die Größe der Kraft zu jener der Laſt hiebei ſteht, heißt das **ſtatiſche Verhältniß**. Aus dem Begriffe einer Maſchine geht hervor, daß die Richtungen der Kraft und Laſt einander nicht gerade entgegengeſetzt ſind; ſoll nun zwiſchen beiden Kräften Gleichgewicht herrſchen, ſo müſſen ſich dieſelben auf andere Kräfte reduciren laſſen, welche dadurch unwirkſam gemacht werden, daß ihre Richtungen durch unbewegliche Punkte gehen. Eine Maſchine muß demnach derlei Punkte enthalten. Sie heißen **Unterſtützungspunkte**. Eine Maſchine, wovon kein Beſtandtheil ſelbſt wieder eine Maſchine iſt, heißt **einfach**, widrigenfalls **zuſammengeſetzt**.

104. Um die einfachen Maſchinen auf einen Grundtypus zurückzuführen, laſſen wir die Richtungen der Kraft und Laſt in dieſelbe Ebene fallen. Dieſe Kräfte werden hier eine in derſelben Ebene wirkende Reſultirende erzeugen, zu deren Vernichtung die Maſchine in der Richtung letzterer Kraft einen fixen Punkt enthalten muß. Iſt nun

(Fig. 14) A der Angriffspunkt der längs AC wirkenden Kraft P, B jener der nach BD gerichteten Laſt Q, und G der fixe Punkt, ſo geht, im Falle des Gleichgewichtes, die Richtung der Reſultirenden R durch G, und die Größe derſelben beſtimmt zugleich den Druck, den G nach dieſer Richtung auszuhalten hat. Aus 91 iſt bekannt, daß, wenn aus G auf AC und BD die Senkrechten GH und GK fallen, und H mit K durch eine Gerade verbunden wird, die Proportion

$$P : Q : R = GK : GH : HK$$

Statt findet, welche daher nicht bloß das ſtatiſche Verhältniß der Kraft und Laſt, ſondern auch jenes des vom Unterſtützungspunkte zu leiſtenden Widerſtandes zu beiden Kräften anzeigt. Uebrigens iſt klar, daß der fixe Punkt nicht geradezu ein einzelner Punkt zu ſeyn braucht, ſondern irgend ein Punkt einer feſten Fläche ſeyn kann, gegen welche die Reſultirende der Kraft und Laſt normal wirkt (96). Hiernach zerfallen die einfachen Maſchinen in zwei Abtheilungen. Zur erſten Abtheilung gehören jene, bei welchen die Unterſtützung durch einen Punkt gegeben iſt. Dieſe ſind die Stangen- oder Seilmaſchine, der Hebel, das Wellrad und die Rolle. Die zweite Abtheilung hingegen umfaßt die Maſchinen, bei denen die Aufhebung der Reſultirenden durch eine Fläche bewirkt wird. Sie ſind die geneigte Ebene (oder allgemeiner eine beliebige krumme Fläche) die Schraube und der Keil.

105. Die Stangen- (oder Seil-) Maſchine beſteht aus drei Stangen, AO, BO, CO [Fig. 23] (Stricken, Schnüren, Ketten u. dgl.), welche in einem Punkte O, um welchen ſie ſich frei bewegen können, mit einander verbunden ſind; an dem Ende A der einen, längs ihrer Richtung AO oder OA, wirkt die Kraft P, an dem Ende B der zweiten längs BO oder OB die Laſt Q, und das Ende C der dritten iſt dergeſtalt befeſtigt, daß ſich dieſelbe um den fixen Punkt C drehen kann. Im Zuſtande des Gleichgewichtes muß offenbar die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade OC fallen. Es findet demnach das in 104 Geſagte hier ſeine volle Anwendung. Zieht man nämlich von C (oder von irgend einem anderen Punkte der CO, O ausgenommen) auf AO, BO die Senkrechten CH, CK, ſo iſt

$$P : Q = CK : CH.$$

Hierauf beruht auch die Wirkſamkeit der ſogenannten Kniepreſſe. (S. Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 20. Fig. 13. Fechner in Pogg. Ann. 41. 501. Vergl. 42. 350.)

Nach dem in der Anmerkung zu 91 Geſagten iſt leicht einzuſehen, daß, wenn man die Kraft, welche C auszuhalten hat, R nennt, die Proportion $P : Q : R = \sin BOC : \sin AOC : \sin AOB$ Statt findet.

106. Ein Hebel iſt eine unbiegſame Stange oder Linie ACB (Fig. 26 a und b), die um einen Punkt C (Unterſtützungspunkt) beweglich iſt, außer welchem die Kraft P und die Laſt Q angebracht ſind. AC und BC heißen die Hebelarme. Wird dieſe Stange ſchwerlos gedacht, ſo heißt der Hebel ein mathematiſcher, iſt ſie ſchwer, ein phyſiſcher Hebel; liegen A, C, B in einer geraden Linie,

ſo iſt der Hebel ein geradliniger, ſonſt ein Winkelhebel. Liegt der Unterſtützungspunkt zwiſchen den Angriffspunkten der Kraft und Laſt, ſo heißt der Hebel zweiarmig, widrigenfalls einarmig. Iſt AB ein mathematiſcher Hebel, er mag nun ein- oder zweiarmig, geradlinig oder ein Winkelhebel ſeyn; ſo ſtehen die Kräfte P und Q im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten CD und CE, welche vom Unterſtützungspunkte auf die Richtungen der Kräfte gezogen ſind, oder wenn die Momente der Kraft und Laſt in Beziehung auf den Unterſtützungspunkt einander gleich ſind; denn bei dieſem Verhältniſſe der Kräfte zu einander geht die Reſultirende von P und Q durch den Unterſtützungspunkt C (95), und es kann keine Bewegung erfolgen. — Man kann dieſen Satz auch umkehren und ſagen: Sobald am Hebel AB Gleichgewicht herrſcht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird erſteres offenbar nur dann ſeyn können, wenn die Reſultirende der Kräfte P und Q durch den Unterſtützungspunkt geht; dieſes ereignet ſich aber nur, wenn $P.CD = Q.CE$, oder wenn $P : Q = CE : CD$ iſt. Wirken die Kräfte P und Q parallel auf einen geradlinigen Hebel, ſo ſtehen ſie im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt, wie die Hebelarme verhalten.

107. Der phyſiſche Hebel kann in einen mathematiſchen verwandelt werden, wenn man ſein ganzes Gewicht in ſeinem Schwerpunkte vereint annimmt, und ihn dann als ſchwerlos behandelt. Für den Stand des Gleichgewichtes muß das Moment dieſes Gewichtes in Beziehung auf den Unterſtützungspunkt zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Kraft fällt und dieſe abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Laſt fällt und dieſe aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Laſt addirt werden. Hievon überzeugt man ſich ſogleich, wenn man eine der Kräfte am Hebel in zwei Theile zerlegt, wovon der eine der andern Kraft, der zweite aber dem im Schwerpunkte des Hebels vereinigten Gewichte desſelben das Gleichgewicht hält.

108. Der Hebel iſt ſchon deßhalb ſehr wichtig, weil er in ſehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe und Künſte Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheiſen, Schaufeln, Zangen, Scheren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. ſ. w.; für den Phyſiker wird er es nebſt anderen beſonders dadurch, daß darauf eines ſeiner wichtigſten Inſtrumente, die Wage beruht. Man unterſcheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die gemeine Wage und die Schnellwage. Für die Phyſik iſt die erſtere beſonders wichtig. Die gemeine Wage (Fig. 25) beſteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Schere, der Zunge und aus den Schalen, die am Balken hängen. An ihr ſollen ſich zwei gleiche, übrigens beliebige Gewichte das Gleichgewicht halten, wenn jedes derſelben in eine Schale gelegt wird. Dazu gehört, 1) daß der Wagebalken mit den Schalen für ſich im Gleichgewichte ſtehe, welches der Fall iſt, wenn beide Arme im unbelaſteten Zuſtande gleich ſchwer ſind, und auch ihre Schwer-

punkte eine gleiche Entfernung von der Drehungsaxe des Wagebalkens haben; 2) daß die beiden Arme gleich lang ſind, und daher auch gleiche Laſten ein gleiches Moment in Bezug auf die Axe haben. — Dieſe Bedingungen ſind aber in der Ausübung völlig unerreichbar, ja ſelbſt, wenn ſie auch einmal erreicht ſind, ſo werden ſie doch durch die kleinſte ungleiche Erwärmung wieder aufgehoben. Demnach ſind die beſten Wagen, genau genommen, doch noch falſche Wagen, aber die Fehler ſind ſo klein, daß man ſie in vielen Fällen ganz vernachläßigen kann. Glücklicher Weiſe läßt ſich nicht nur allein die Falſchheit einer Wage ſehr leicht erkennen, ſondern auch bei dem Abwägen ein Verfahren anwenden, mittelſt deſſen man ſelbſt mit einer falſchen Wage das Gewicht eines Körpers richtig findet, und welches daher bei ſubtilen Unterſuchungen, wenn man auch mit den beſten Wagen zu thun hat, angewendet werden muß. Die Richtigkeit einer Wage wird dadurch geprüft, daß man, nachdem man an derſelben zwei Laſten in das Gleichgewicht geſetzt hat, dieſe unter einander verwechſelt. Aendert ſich hiebei die Ruhelage des Wagebalkens, ſo iſt die Wage unrichtig. Um mit einer ſolchen Wage dennoch richtig zu wägen, legt man den abzuwägenden Körper A in eine Schale, und ſo viel Tara in die andere, als nöthig iſt, um das Gleichgewicht herzuſtellen, nimmt hierauf A heraus, ſetzt dafür Gewichte P, ſo daß das Gleichgewicht fortbeſteht. Hier muß P = A ſeyn, wenn zwiſchen den Zapfen und Pfannen keine Reibung Statt findet. Da aber dieſe Reibung immer vorhanden iſt, ſo muß man ihren Einfluß dadurch unſchädlich machen, daß man denſelben bei beiden Abwägungen von derſelben Größe zu erhalten ſucht. Dieſes wird dadurch bewirkt, daß man den Wagebalken, ſobald A mit der Tara ins Gleichgewicht gekommen iſt, in der Lage ſeiner Ruhe unterſtützt, erſt hierauf A wegnimmt, durch Gewichte erſetzt, denen nicht viel von A fehlt, und dann erſt den Balken frei läßt.

Unter den oben angegebenen Bedingungen wird eine Wage zwar richtig ſeyn, aber doch noch nicht die zum bequemen Gebrauche nöthige Einrichtung haben. Dazu wird überdieß noch erfordert, daß der Balken bei gleicher Belaſtung auf beiden Seiten in einer Lage in Ruhe komme, bei welcher die Verbindungslinie der beiden Aufhängungspunkte der Schalen eine horizontale und ſtabile Lage hat, und bei einer ungleichen Belaſtung deſto mehr von dieſer Lage abweiche (einen deſto größeren Ausſchlag gebe), je größer die Ungleichheit der Belaſtung iſt. Dazu iſt nothwendig, daß die genannte Verbindungslinie nicht über der Axe des Balkens vorbeigehe, und der Schwerpunkt des Balkens unter der Axe ſich befinde; überdieß erheiſcht die Richtigkeit der Wage, daß die geraden Linien, welche man von einem Aufhängepunkte der Schalen zum anderen und vom Schwerpunkte des Balkens zu ſeiner Drehungsaxe zieht, auf einander ſenkrecht ſtehen, und erſtere durch letztere halbirt werde. Man nennt den Halbirungspunkt erſterer Geraden den Mittelpunkt des Wagebalkens. Je kleiner der Abſtand des Mittelpunktes, wie auch des Schwerpunktes von der Drehungsaxe des Wagebalkens in Vergleichung mit der Länge

ſeiner Arme iſt, deſto größer wird bei gegebener gleicher Belaſtung der Wagſchalen der Neigungswinkel (Ausſchlagwinkel) des Balkens, den ein beſtimmtes, auf eine der Schalen gelegtes Uebergewicht hervorbringt, und deſto empfindlicher iſt daher die Wage. Fällt der Mittelpunkt des Wagebalkens in die Drehungsaxe ſelbſt, ſo hängt der Ausſchlagwinkel bloß von dem Belaſtungsunterſchiede der Wagſchalen ab.

Iſt im letzteren Falle c die Drehungsaxe des Balkens, d ſein Schwerpunkt, und ſind a und b die Aufhängungspunkte der Schalen; ſo wird erfordert, daß d unter c liege und ab von cd ſenkrecht halbirt werde. Es ſeyen P und Q die Belaſtungen von a und b, und man denke ſich $P = Q$. Unter dieſer Vorausſetzung wird die Reſultirende beider Kräfte durch c gehen und dadurch aufgehoben werden. Damit nun bei einer horizontalen Lage der Linie ab der Balken ſtabil ruhe, muß der Schwerpunkt unter c in einer verticalen Linie liegen und ab auf cd ſenkrecht ſeyn. Iſt aber $P > Q$, ſo ſetze man $P = Q + R$, denke ſich beiderſeits die zwei gleichen Kräfte Q weggenommen, und es wird der Erfolg derſelbe ſeyn, als wenn nur R allein auf einer Schale ſich befände. Dieſe Kraft wird den Arm an ihrer Seite herabziehen und ihn ſo weit neigen, bis das Moment der Kraft R in Bezug auf die Axe c dem Momente des im Schwerpunkte d vereinigten Gewichtes des Balkens in Bezug auf c gleich iſt. Es iſt begreiflich, daß dieſe Neigung deſto größer ſeyn wird, je größer R und je kleiner cd iſt. Fällt aber der Mittelpunkt des Wagebalkens unterhalb c in m, ſo muß man dieſen Punkt mit dem Gewichte 2 Q belaſtet denken, und das Uebergewicht R wird den Balken nun ſo weit neigen, bis das Moment von R hinſichtlich der Drehungsaxe c der Summe der Momente der Kräfte 2 Q und des Gewichts des Balkens in Bezug auf c gleichkommt. — Man ſchätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theil der größten Belaſtung, den ſie noch anzuzeigen vermag. Eine gute Wage ſoll wenigſtens $\frac{1}{60000}$ dieſer Laſt anzeigen. Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belaſtung von 10 Pfd. noch 0.006 Gr., alſo den 12millionſten Theil der Belaſtung an. Fortins Wagen zeigen bei 4 Pf. Belaſtung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Laſt. Die Wagen, welche Florenz in Wien verfertigt, geben bei einer Belaſtung von $4\frac{1}{2}$ Pfd. noch mit $\frac{1}{8}$ Richtpfennig, alſo mit $\frac{1}{441359}$ einen ſehr deutlichen Ausſchlag.

109. Die Schnellwage (Fig. 26) hat einen Balken mit ungleichen Armen. An einem beſtimmten Punkte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht und am längern ein beſtimmtes Gewicht P (der Laufer) ſo lange hin oder her geſchoben, bis es mit A im Gleichgewichte ſteht. Hält der unbelaſtete Balken in der horizontalen Lage aus, in welchem Falle die Wage eine mathematiſche Schnellwage heißt, und iſt die Entfernung des Körpers von der Axe $= a$, die des Laufers $= b$; ſo iſt offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P.\frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann daher a auf den längern Arm ſo oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilſtriche, die zwiſchen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von A beſtimmen. Bleibt aber der Balken unbelaſtet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d. h. iſt die Wage eine phyſiſche Schnellwage; ſo kann obige Gleichung nicht gelten,

und man beſtimmt die Punkte des längeren Armes, an welchem P mit einer gewiſſen Laſt im Gleichgewichte ſteht, beſſer durch Erfahrung.

110. Das Wellrad ſtellt Fig. 27 vor. Es iſt ein um ſeine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, deſſen Axe mit jener des Cylinders zuſammenfällt, und zugleich auf der Ebene des Rades ſenkrecht ſteht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Laſt am Umfange des Cylinders. Denkt man ſich die Laſt in die Ebene des Rades verſetzt, ſo wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden ſind, und dann ſtellt Fig. 28 einen Querſchnitt dieſer Maſchine vor, aus dem erſichtlich wird, daß ſie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, deſſen Ruhepunkt C in der Axe des Rades liegt, während in A die Laſt Q, in B die Kraft P wirkt. Obgleich man das Wellrad als eine beſondere einfache Maſchine anzuſehen pflegt, ſo iſt es doch nur eine ſo oftmalige Wiederholung desſelben Hebels, als ſich Rad- und Wellenhalbmeſſer denken laſſen. Man hat daher für den Zuſtand des Gleichgewichtes $P : Q = AC : BC$, d. i. die Kraft verhält ſich zur Laſt, wie der Halbmeſſer des Cylinders zum Halbmeſſer des Rades; der Druck aber, den der Ruhepunkt C auszuhalten hat, iſt der Verbindungslinie der Punkte A und B proportionirt (104), ſo daß derſelbe ſich ändert, wenn A und B an andere Stellen des Umfanges der Welle und des Rades fallen, ohne daß deßhalb an dem ſtatiſchen Verhältniſſe der Kraft und Laſt eine Aenderung vor ſich geht. Das Wellrad erſcheint im gemeinen Leben als Winde, Haſpel, Göpel, Zahnrad, Waſſerrad u. ſ. w.

111. Eine Rolle iſt eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne verſehene Scheibe. Iſt ſie bloß um ihre Axe beweglich, ſo heißt ſie fix; läßt ſie ſich aber nicht bloß um ihre Axe drehen, ſondern auch ſammt derſelben bewegen, ſo nennt man ſie beweglich. Es ſtelle Fig. 29 eine Rolle vor, AB ſey ein von einem abſolut biegſamen Stricke umfaßtes Bogenſtück, C ihr Mittelpunkt, P und P′ Kräfte, welche nach AD und BE wirken, ſo daß AD und BE Tangenten der Scheibe ſind. Iſt nun C ein fixer Punkt, ſo wird zum Gleichgewichte der genannten Kräfte erfordert, daß

$$P . CA = P' . CB, \text{ d. i. } P = P'$$

ſey; in der fixen Rolle iſt alſo im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Laſt. Der Druck der hiebei auf C ausgeübt wird, verhält ſich nach 104 zu jeder der Kräfte, wie die Sehne AB des vom Stricke umfaßten Bogens zum Halbmeſſer CA der Rolle. Denkt man ſich einen Punkt des Strickes BE durch einen Nagel feſt gehalten, dafür aber in C eine Kraft Q dem oben erwähnten Drucke entgegen wirkend und ihm an Größe gleich, welche Kraft offenbar von C gegen den Durchſchnittspunkt F der verlängerten AD und BE gerichtet ſeyn muß; ſo hat man eine bewegliche Rolle vor ſich, wobei P die Kraft und Q die Laſt iſt. Daher verhält ſich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Halbmeſſer der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird $P : Q = AC : 2\,AC = 1 : 2$. So lange $AB > AC$, oder der

umfaßte Bogen größer iſt als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; ſobald aber dieſer Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrſcht das Gegentheil.

112. Jede Ebene, die mit einer horizontalen einen ſpitzigen Winkel macht, heißt geneigt oder ſchief. Iſt C (Fig. 30) ein Punkt der Durchſchnittslinie der geneigten Ebene mit einer horizontalen, BC in erſterer, AC in letzterer auf dieſe Durchſchnittslinie ſenkrecht, und BAC ein rechter Winkel, mithin BA vertical, ſo heißt AC die Baſis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel der ſchiefen Ebene. Befindet ſich auf BC ein Körper, deſſen Schwerpunkt in G iſt und deſſen Gewicht Q heißt, ſo ſucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach GD wirkt, auf BC erhalten, ſo muß die Richtung der Reſultirenden von P und Q auf BC ſenkrecht ſtehen, und durch die Grundfläche des Körpers gehen, widrigen Falls derſelbe auf der Ebene umſchlagen würde. Iſt daher GE die Richtung dieſer Reſultirenden, und ſtehen EH und EK auf GD und Gz ſenkrecht, ſo wird für den Zuſtand des Gleichgewichtes im Allgemeinen ſeyn:

$$P : Q = EK : EH.$$

In dem beſonderen Falle, wenn P der Baſis der ſchiefen Ebene parallel wirkt (Fig. 31), iſt $EH = GK$, und da hier die Dreiecke GEK, ABC ähnlich ſind, iſt $EK : GK = AB : AC$, daher

$$P : Q = AB : AC,$$

d. h. es verhält ſich die Kraft zur Laſt, wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Baſis. Iſt aber die Richtung der Kraft P der Länge der ſchiefen Ebene parallel (Fig. 32), ſo fällt EH in die EG, und man hat $P : Q = EK : EG$. Die Aehnlichkeit der Dreiecke EGK, ABC gibt aber $EK : EG = AB : BC$, daher iſt auch $P : Q = AB : BC$, mithin verhält ſich die Kraft zur Laſt wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Länge.

Setzt man an die Stelle der ſchiefen Ebene eine krumme Fläche, ſo iſt zum Gleichgewichte zwiſchen Kraft und Laſt erforderlich, daß die Reſultirende beider auf der Fläche normal einwirke, mithin die Richtung derſelben auf einer tangirenden Ebene der Fläche im Berührungspunkte ſenkrecht ſtehe. Dieſer Fall reducirt ſich hiedurch auf jenen der ſchiefen Ebene.

113. Zur Erörterung der Theorie der Schraube iſt es nöthig, ſie auf eine ſchiefe Ebene zurückzuführen, und zu dieſem Zwecke die Art, wie man ſich eine Schraube entſtanden denken kann, nebſt der Methode, zu einer Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entſtehung einer Schraube eine richtige Anſicht zu faſſen, ſey AB (Fig. 33) ein gerader Cylinder, deſſen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical ſtehen mag. Man denke ſich ein Rechteck abdc, deſſen Baſis bd dem Umfange, und deſſen Höhe ab der Höhe des Cylinders gleich iſt, theile ab in eine beliebige Anzahl gleicher Theile ae, ef, fg, gh, hb, ziehe durch die Theilungspunkte die mit bd Parallelen ee′, ff′, gg′, hh′ und die Diagonalen ec′,

fe', gf, hg', bh'. Wird nun das Rechteck abdc um den Cylinder gewickelt, ſo entſteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie ec bildet einen Schraubengang und ae den Abſtand der Schraubengänge. Der Cylinder AB heißt nun Schraubencylinder, und wenn ſich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine **Schraube**, wohl auch eine **Schraubenſpindel**; ſind aber die Schraubengänge an einer cylindriſchen Höhlung eines Körpers eingeſchnitten, ſo nennt man ihn **Schraubenmutter**. — Denkt man ſich eine Ebene CD (Fig. 34), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie mn berührt, die mit ab gleichlaufend iſt; ſo entſtehen durch Abwicklung der Cylinderfläche auf dieſe Ebene lauter gerade Linien, die mit mn denſelben Winkel machen, welchen die Diagonalen ec, fe' ꝛc. mit ab bilden, und jede dieſer Linien wird eine Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher zu einem Punkte o der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in CD ein rechtwinkeliges Dreieck pqr beſchreibt, deſſen mit mn parallele Höhe pq dem Abſtande zweier Schraubengänge, deſſen Baſis qr dem Umfange des Schraubencylinders gleich iſt, und deſſen Hypotenuſe pr durch den Punkt o geht.

114. Es ſeyen MoN, Fig. 35, die Schraubengänge einer vertical ſtehenden Schraube, deren Axe AB iſt, und man ſuche das ſtatiſche Verhältniß zwiſchen der Laſt Q und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft P, in der Vorausſetzung, daß keine Reibung vorhanden ſey, und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Punkte o berühre. Die Laſt Q wirkt in o vertical abwärts, und weil die Kraft P dasſelbe Moment in Beziehung auf die Axe AB hat, ſie mag auf was immer für einen Punkt am Umfange des Schraubencylinders wirken, ſo kann man ſie auch nach o verſetzt denken. Es wirken daher beide Kräfte auf o, und die eine hat zu verhindern, daß der Punkt o nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier bloß um die Verhinderung des Anfangs der Bewegung zu thun iſt, ſo muß P nur verhindern, daß o nicht längs der Tangente bc, d. i. über die ſchiefe Gerade abwärts gehe. Da iſt aber (112) $P:Q=bd:dc$; mithin verhält ſich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Abſtand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders. — Iſt die Schraube mit mehreren Punkten o, o', o'' der Schraubenmutter in Berührung; ſo wird die ganze Laſt Q in eben ſo viele Theile q, q', q'' zertheilt, wovon q auf o, q' auf o', q'' auf o'' wirkt, und wo $q+q'+q''=Q$ iſt. Iſt p die Kraft, welche der q, p' diejenige, welche der q' das Gleichgewicht hält u. ſ. f., ſo hat man

$$p : q = bd : dc$$
$$p' : q' = bd : dc$$
$$p'' : q'' = bd : dc, \text{ mithin}$$
$$p + p' + p'' : q + q' + q'' = bd : dc \text{ oder wie vorhin.}$$
$$P : Q = bd : dc.$$

115. Ein **Keil** iſt ein dreiſeitiges Prisma (Fig. 36), das mit ſeinen Seitenflächen, z. B. mit AD und ED zwiſchen zwei Körper hineingetrieben wird, um ſie zu trennen. Stellt ABC (Fig. 37) einen auf die Kante AB (Fig. 36) ſenkrechten Durchſchnitt des Keils vor, auf deſſen Seite AC die Kraft P ſenkrecht wirket, während auf die Seiten AB und BC (Fig. 37) die Laſt ſo vertheilt iſt, daß davon auf AB der Theil q, und auf CB der Theil q′ wirket; ſo ſey DE die Richtung der Kraft P, und Dy auf AB, Dz auf BC ſenkrecht. Fällt man nun aus E auf Dy und Dz die Senkrechten EF und EG und zieht FG, ſo iſt $P:q:q' = FG:EG:EF$. Aber die Dreiecke EFG, ABC ſind ähnlich, denn es iſt der Winkel

$$FGE = FDE = CAB \text{ und } FEG = CBA, \text{ daher iſt}$$

$$FG : EG : EF = AC : AB : CB, \text{ mithin}$$

$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

116. Aus dieſen einfachen Maſchinen beſteht die unendliche Anzahl zuſammengeſetzter Vorrichtungen, deren man ſich zu den mannigfaltigſten Zwecken bedient. Die Zuſammenſetzung geſchieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maſchine mit der anderen, oder mittelſt der anderen. Als Beiſpiel der erſten Art kann der gemeine Flaſchenzug gelten, den Fig. 38 vorſtellt. Iſt daſelbſt die Kraft P am freien Strickende, die Laſt Q an der unteren Flaſche angebracht, ſo iſt es klar, daß alle Stricke gleich ſtark geſpannt ſeyn müſſen, wenn P mit Q im Gleichgewichte ſeyn ſoll, und daß daher bei n Stricken ſeyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zuſammengeſetzten Maſchinen der zweiten Art iſt die Laſt der erſten Beſtandmaſchine, auf welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirket, die Kraft bei der zweiten; die Laſt an dieſer die Kraft an der dritten u. ſ. w. Heißt daher $a:b$ das Verhältniß der Kraft zur Laſt bei der erſten Maſchine, wenn ſie im Gleichgewichte iſt, eben ſo $a':b'$, $a'':b''$, $a''':b'''$ bei der zweiten, dritten und vierten, Q die Laſt bei der letzten, x die Laſt der erſten, x', x'', x''' die der zweiten, dritten, vierten; ſo wird

$$\begin{aligned} P : x &= a : b \\ x : x' &= a' : b' \\ x' : x'' &= a'' : b'' \\ x'' : Q &= a''' : b''', \text{ mithin} \\ \hline P : Q &= a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b''' \end{aligned}$$

Es iſt daher das Verhältniß der Kraft zur Laſt aus den einfachen Verhältniſſen der Beſtandmaſchinen zuſammengeſetzt.

Alle hier angeführten Geſetze des Gleichgewichtes ſind nur beſondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten genannt wird und ſo lautet: Wenn ein Syſtem von ſo viel Körpern oder Punkten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte ſteht, und man ertheilt dem Syſteme eine unendlich kleine, mit der Beſchaffenheit desſelben verträgliche Bewegung, vermög welcher jeder Punkt des Syſtems einen unendlich kleinen Weg zurücklegt; ſo iſt die Summe aus den Producten jeder

Kraft in den Weg, den ihr Angriffspunkt nach der Richtung der Kraft beſchreibt, gleich Null, vorausgeſetzt, daß man die Wege, welche nach entgegengeſetzten Richtungen beſchrieben werden, durch + und — unterſcheidet.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander (Theorie der Cohärenz).

117. Es iſt bereits (28, 29) dargethan, daß jeder Körper aus ungemein kleinen Theilchen (Molekeln) beſteht, die zwar einander ſehr nahe liegen, aber ſich doch nicht berühren und von mehreren Kräften beherrſcht werden. Eine derſelben iſt die ſchon erörterte, von jeder materiellen Verſchiedenheit unabhängige, in unermeßliche Ferne wirkende Anziehungskraft, die der anziehenden Maſſe direct, dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportionirt und von der Natur der Molekel unabhängig iſt; eine andere, um die es ſich hier handelt, wirkt theils anziehend, theils abſtoßend (38) und iſt von der Natur der Molekel abhängig. Ihre Stärke nimmt ſehr ſchnell ab, wenn die Entfernung der Molekel wächſt, und verſchwindet in kaum merklicher Entfernung derſelben; der anziehende Theil gehört ohne Zweifel der Materie an, der abſtoßende wird von denen, welche die Wärme als etwas Materielles anſehen, derſelben zugeſchrieben. Die Reſultirende dieſer beiden Kräfte heißt **Molekularkraft**, und dieſe iſt es, welche den Aggregationszuſtand der Körper beſtimmt. Für feſte Körper, von denen hier die Rede ſeyn ſoll, wirkt ſie anziehend (als Cohärenzkraft), und begründet die Stärke und Art des Zuſammenhanges der Theile, ſo wie die Geſtalt, welche das Ganze annimmt. Die Geſetze, nach denen ſie wirkt, laſſen ſich nur durch Erfahrung ausmitteln, und dazu liefert das Folgende das Materiale.

A. Kryſtalliſation der Körper.

118. In der ganzen Natur iſt das Beſtreben der kleinſten Theile, ſich zu einem ſymmetriſch geformten Ganzen zu vereinigen, unverkennbar, und dieſem gemäß zeigen auch ſowohl die organiſchen als unorganiſchen Körper, wenn ſie ſich ungeſtört bilden konnten, eine auffallende Symmetrie ihres Baues; nur unterſcheiden ſich beide Naturreiche dadurch von einander, daß in erſterem die runden, in letzterem die eckigen Formen vorwalten. Die Körper des Mineralreiches, welche eine in allen Theilen gleichartige Materie in einem Raume enthalten, der von urſprünglich vorhandenen ebenen, zu einer ſymmetriſchen Form verbundenen Flächen begrenzt wird, heißen **Kryſtalle**. Die Natur liefert uns unzählige Körper dieſer Art; an manchem erkennt man die Symmetrie ſeines Baues nur darum nicht, weil er ein Aggregat von ſehr kleinen, regelmäßig gebildeten Theilen oder ein Bruchſtück eines größeren Kryſtalls iſt. Nur ein Kryſtall iſt unter den unorga-

niſchen Körpern ein in naturhiſtoriſcher Hinſicht für ſich beſtehendes Ganzes, ein Individuum.

119. Soll ein Stoff kryſtalliſiren, ſo iſt nothwendig, daß ſeine kleinſten Theile ihrer innern Kraft ungehindert folgen können. Dieſes findet aber nur dann Statt, wenn er flüſſig iſt. Darum muß man feſte Körper, die man kryſtalliſiren will, vorläufig durch ein Auflöſungsmittel oder durch Erwärmen tropfbar oder ausdehnſam machen. So werden zum Behufe der Kryſtallbildung Salze im Waſſer, Schwefel im Schwefelkohlenſtoff aufgelöſet, Metalle ꝛc. geſchmolzen, Benzoeſäure, Jod ꝛc. verflüchtiget. Um nun wieder den feſten aber kryſtalliniſchen Zuſtand herzuſtellen, ſucht man die Theile des kryſtalliſirbaren Stoffes einander ſo nahe zu bringen, daß die Cohäſionskraft mit der nöthigen Stärke zu wirken anfängt. Dieſes bewirkt man: 1) durch langſames Abkühlen. Durch dieſes Mittel kryſtalliſiren geſchmolzener Schwefel, Metalle ꝛc. Bei Auflöſungen iſt es nur dann wirkſam, wenn das Auflöſungsmittel von dem kryſtalliſirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer. Eines der merkwürdigſten hieher gehörigen Beiſpiele führt Marx (Schweiggers J. 52. 351) vom eſſigſauren Natrum an. Wird dieſes in einem großen Platinlöffel über einer Weingeiſtlampe geſchmolzen, und hierauf von der Lampe weggenommen; ſo trennt ſich plötzlich die Flüſſigkeit von den Wänden des Löffels, zieht ſich zuſammen und wird feſt. Sobald ſich aber die Oberfläche mit einer Haut überzogen hat, brechen aus dem Innern Kryſtalle hervor und wachſen ſchnell auswärts. 2) Durch Verflüchtigung des Auflöſungsmittels mittelſt der Wärme. Auf dieſe Weiſe kryſtalliſirt Kochſalz, Salpeter ꝛc. 3) Durch Zuſatz eines Stoffes, der das Auflöſungsmittel bindet, oder auf andere Weiſe eine Zerſetzung bewirket. So bekommt man aus einer wäſſerigen Auflöſung des ſchwefelſauren Kupferoxydes durch Zuſatz von Weingeiſt Kryſtalle; auch die Ausſcheidung der Stoffe in Kryſtallform durch Elektricität gehört hieher. 4) Durch ſtarkes Comprimiren der Flüſſigkeit. Auf dieſem Wege hat Perkins aus der flüſſigen Eſſigſäure ſchöne Kryſtalle erhalten. — Welches von dieſen Mitteln immer gewählt werden mag oder muß, ſo darf es doch nie ſchnell wirken, weil ſonſt die auf einmal in zu großer Menge feſt werdenden Theile ſich gegenſeitig hindern, eine regelmäßige Form anzunehmen, und das Ganze wohl ein Aggregat kleiner Kryſtalle iſt, dieſe aber zu einem ganz unſymmetriſchen Klumpen zuſammengewachſen ſind.

Da dieſe Mittel nicht auf jeden Stoff gleich ſtark oder gleich ſchnell wirken, ſo kann man ſich ihrer bedienen, um aus einer Miſchung mehrerer Stoffe einen oder den anderen auszuſcheiden. So trennt man das Digeſtivſalz vom Salpeter aus einer Löſung, worin beide enthalten ſind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung durch bloßes Abkühlen der Maſſe, weil erſteres ſpäter kryſtalliſirt als letzterer.

120. Die Bildung der Kryſtalle kann durch gewiſſe Umſtände ausnehmend erleichtert werden. Iſt eine Flüſſigkeit ſchon nahe daran, Kryſtalle zu liefern, ſo iſt dem Anſchießen derſelben oft ein ſchwacher

Stoß ſehr förderlich. Es ſcheint, als wenn durch eine ſolche Erſchütterung die kleinſten Theile in den Stand geſetzt würden, ſich von Hinderniſſen los zu machen und der Cohärenzkraft zu folgen. Ein anderes Beförderungsmittel iſt die Berührung des kryſtalliſirbaren Stoffes mit einem feſten Körper oder auch nur mit der Luft. So gibt eine kryſtallrechte Lauge immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo ſie die Luft berührt, die erſten Kryſtalle; Hineinſtellen von Stäben, Schnüren ꝛc. beſchleunigt darum die Kryſtallbildung. Beſonders wirkſam iſt die Berührung der kryſtallrechten Flüſſigkeit mit einem Kryſtall derſelben Natur, wie man ſie beabſichtiget. Legt man in eine Kochſalzlöſung einen Salzkryſtall, ſo ſieht man ihn ſchnell wachſen, wenn man auch vorher in der Flüſſigkeit noch nichts von einer anfangenden Kryſtalliſation bemerken konnte. Nimmt man einen ſolchen Kryſtall heraus, bricht davon ein Stück ab, und legt ihn wieder an ſeinen vorigen Platz, ſo wird das abgeriſſene Stück wieder völlig erſetzt. Gibt man in eine Löſung von 3 Th. Glauberſalz und 2 Th. Salpeter in lauem Waſſer einen Salpeterkryſtall, ſo ſchießt bloß Salpeter an, thut man aber dasſelbe mit einem Glauberſalzkryſtall, ſo erfolgt bloß das Kryſtalliſiren des Glauberſalzes. Legt man in eine Auflöſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd und ſchwefelſaurem Zinkoxyd einen Eiſenvitriolkryſtall, ſo vergrößert ſich dieſer Kryſtall durch die Maſſe der Auflöſung, ohne Aenderung ſeiner Geſtalt; legt man den vergrößerten Kryſtall wieder in eine Eiſenvitriollöſung, ſo vergrößert er ſich auf dieſelbe Weiſe in dieſer, und man kann durch Wiederholen dieſes Verfahrens einen Kryſtall erhalten, der aus abwechſelnden, parallelen Schichten von grünlichem Eiſenvitriol und ſchwefelſaurem Zinkkupferoxyd beſteht. Vielleicht gehört auch das von Brewſter erzählte merkwürdige Factum hieher, daß ein Tropfen einer in Schwerſpath eingeſchloſſen geweſenen Flüſſigkeit, nach dem Herausnehmen zu einem Kryſtall erſtarrte, ohne daß man es einer Verdünſtung der Flüſſigkeit zuſchreiben konnte, ſo wie die Erfahrung Wackernagl's, der bemerkt hat, daß ſich Kryſtalle, die mit Firniß überzogen ſind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern, woraus er den Schluß ziehen will, die Cohärenzkraft wirke auf eine merkliche Entfernung. Das Effloresciren, vermög welchem ſich weit über der Oberfläche der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden feine Kryſtalle bilden, wie dieſes vorzüglich beim Salpeter bemerklich iſt, läßt ſich auch hieraus erklären.

Die ſchon gebildeten Kryſtalle laſſen ſich durch eigene Verfahrungsweiſen rein erhalten oder auch vergrößern. Beim Kryſtalliſiren des Schwefels oder der Metalle thut man gut, wenn man die obere, feſte Haut der geſtehenden Maſſe durchbricht, und die darunter befindliche Flüſſigkeit abgießt, damit die ſchon gebildeten Kryſtalle nicht durch andere unkenntlich gemacht werden. Leblanc lehrt Salzkryſtalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu laſſen, den Reſt von den ſchon gebildeten Kryſtallen in eine flache Schale abzugießen, und die Bildung neuer Kryſtalle abzuwarten. Von dieſen ſoll man die ſchönſten auswählen, ſie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch ſo, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings kryſtallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Kryſtall wenigſtens täglich ein-

mal umlegen, und dieſes Verfahren ſo oft wiederholen, als ſich die Lauge noch kryſtallrecht machen läßt, oder bis die Kryſtalle groß genug ſind. Ein anderes Verfahren, aus kleineren Kryſtallen größere zu erhalten, beſteht darin, dieſe Kryſtalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo ſie einem Temperaturwechſel ausgeſetzt ſind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflöſungsvermögen als in der Kälte, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur etwas von den Kryſtallen aufgelöſet; aber weil die kleineren im Verhältniß zu ihrer Maſſe eine größere Oberfläche haben, als die größeren, ſo werden auch jene mehr verlieren als dieſe, während doch beim Sinken der Temperatur alle Kryſtalle nur gleichen Zuwachs erhalten. Daher werden nach und nach alle kleineren Kryſtalle verſchwinden, und ſomit wenige, aber deſto größere zum Vorſchein kommen. (Zeitſchr. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

121. Kryſtalle können durch ihre **mathematiſchen** und **phyſikaliſchen** Eigenſchaften ein Gegenſtand der Betrachtung werden. Zu erſteren gehört die Form und Struktur, zu letzteren Härte, Glanz ꝛc. der Flächen, Kanten oder Ecken. Die Form des Kryſtalls heißt ſeine **Kryſtallgeſtalt**, die ſie begrenzenden Flächen heißen **Kryſtallflächen**. Die Geſtalt wird nach der Anzahl, Figur und Lage dieſer Flächen benannt. Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn ſie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entſprechen, und ſetzt die Abweichungen von den Eigenſchaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsprozeſſe. Dasſelbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, dieſe als Körperwinkel angeſehen werden, wiewohl ſie nur ſelten genau von dieſer Art ſind. Die Mittelpunkte der Kanten und Flächen und die Ecken ſind die **Hauptpunkte** eines Kryſtalls, und eine gerade Linie, welche durch ſolche Punkte und durch den Mittelpunkt der Geſtalt geht, heißt eine **Axe** desſelben. Man unterſcheidet mehrere Arten von Axen, nach Beſchaffenheit der Hauptpunkte, durch die ſie gehen. Jeder Kryſtall hat mehrere Axen, die meiſten Kryſtalle haben ſogar mehrere derſelben Art. So ſind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberſtehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberſtehende Kantenmittelpunkte gehenden, und dieſe wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpunkte gezogenen. Von erſteren hat dieſe Kryſtallgeſtalt vier, von den zweiten ſechs, von den letzteren drei. Eine Axe von ſolcher Lage, daß die darauf ſenkrechten Schnitte regelmäßige Figuren ſind, oder die Einzeichnung ſolcher geſtatten, heißt **Hauptaxe**, widrigenfalls **Nebenaxe**. Kryſtalle, die nur Eine Hauptaxe haben, heißen **einaxig**; ſolche, die deren mehrere haben, **vielaxig**. Das Hexaeder iſt demnach eine vielaxige Geſtalt.

122. Einige Kryſtallgeſtalten ſind von ähnlichen, gleichen und gleichliegenden Flächen begrenzt. Dieſe heißen **einfache** Geſtalten; ſie ſtimmen mehr oder weniger mit den ſymmetriſchen Körpern der Geometrie überein, und alle ihre Flächen gehören zu einer einzigen geometriſchen Geſtalt, wie z. B. das Hexaeder, das Octaeder, das Rhomboeder, die vierſeitige, gleichſeitige oder ungleichſeitige Pyramide. Andere Geſtalten haben ungleiche oder ungleichliegende Flächen zur Be-

grenzung, und heißen, wenn dieſe ſymmetriſch angeordnet ſind, **Combinationen**; ihre Flächen gehören zu mehreren einfachen Geſtalten. Eine Combination beſteht demnach aus einfachen Geſtalten; ſo z. B. iſt die Geſtalt Fig. 39 von Hexaeder- und Octaederflächen begrenzt, ſie ſtellt gleichſam einen Würfel vor, von dem die Ecken abgeſchnitten ſind. Denkt man ſich die durch Wegnahme der Ecken entſtandenen Flächen ſo weit vergrößert, daß die Würfelflächen verſchwinden, ſo kommt das Octaeder wirklich zum Vorſchein. Von den Combinationen ſind bloße Aggregate von Kryſtallen wohl zu unterſcheiden, die durch Zuſammenwachſen zweier oder mehrerer Flächen entſtehen, und oft ſogar regelmäßig oder ſymmetriſch ausſehen, häufig mit Natur- oder Kunſtgegenſtänden die größte Aehnlichkeit haben, und auch nach ſolchen benannt werden. Von der Art ſind die baumartigen, ſtaudenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen, geſtrickten Geſtalten, die Bleche und Blättchen, Kugeln, Nieren, Trauben ꝛc., wie ſie uns viele Körper zeigen. Oft ſind die einzelnen Individuen, aus denen ein ſolches Aggregat beſteht, zu klein, als daß ſie mit freiem Auge wahrgenommen werden könnten, nicht ſelten reicht auch das bewaffnete Auge nicht aus, und man kann nur aus dem gleichzeitigen Vorkommen ähnlicher Stücke mit deutlicherer Zuſammenſetzung oder aus dem ſucceſſiven Kleinerwerden der Individuen in demſelben Stücke auf die Art ihrer Zuſammenſetzung ſchließen. Kein Wunder, daß ſolche Körper oft weder Regelmäßigkeit noch Symmetrie zeigen, und doch liegen der Bildung ihrer Zuſammenſetzungsſtücke dieſelben Geſetze zum Grunde, unter deren Herrſchaft die ſchönſten Kryſtallgeſtalten entſtehen.

Selbſt vollkommene Kryſtalle entfernen ſich oft von der ſtrengen Symmetrie, und es ſind oft einzelne Flächen auf Koſten der anderen bedeutend vergrößert, und ſelbſt an den Winkeln Abweichungen von den durch die Geometrie beſtimmten Größen bemerkbar. Wenn man daher von der geometriſchen Regelmäßigkeit und Symmetrie der Kryſtalle ſpricht, ſo meint man damit jenen Zuſtand, dem ſich die meiſten nur mehr oder weniger nähern und den nur wenige ganz erreichen.

123 Daß ſich alle zuſammengeſetzten Geſtalten, ſie mögen nun Combinationen oder regelloſe Zuſammenſetzungen ſeyn, auf einfache zurückführen laſſen, iſt klar; es gibt aber ſelbſt unter den einfachen Geſtalten einen ſolchen Zuſammenhang, daß man alle ſolche aus einer geringen Anzahl derſelben durch ein beſtimmtes Verfahren entſtehen laſſen, d. h. **ableiten** kann. Dazu gibt uns die Natur ſelbſt den Fingerzeig, indem ſie manche Geſtalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und ſo andeutet, es herrſche zwiſchen erſteren eine beſondere Relation, die zwiſchen letzteren fehlt. Man nennt die Geſtalt, aus der man andere ableitet, die aber ſelbſt von keiner anderen abgeleitet wird, die **Grundgeſtalt**. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, ſondern muß von der Natur ſelbſt durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben ſeyn. Der Inbegriff aller aus einer Grundgeſtalt von beſtimmten Abmeſſungen (wenn ſelbe hierin, abgeſehen von der Größe, Verſchiedenheiten zuläßt) ab-

geleiteten Geſtalten macht eine **Kryſtallreihe** aus, und der Inbegriff ſämmtlicher Kryſtallreihen, welche aus gleichartigen, d. h. nur in den Abmeſſungen verſchiedenen Grundgeſtalten entſpringen, heißt ein **Kryſtallſyſtem**. Zur Grundgeſtalt wählt man ſtets die einfachſte und zur Ableitung der übrigen Geſtalten ſchicklichſte einer Kryſtallreihe. In ſofern man die Abmeſſungen der Grundgeſtalt unbeſtimmt läßt, betrachtet man ſie als die Grundlage des Kryſtallſyſtems, wozu ſie gehört, und benennt dieſes nach ihr.

In Betreff der Grundgeſtalten und der davon herrührenden Kryſtallſyſteme weichen die einzelnen Kryſtallographen von einander ab, wahrſcheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes anſehen. **Mohs**, der unſeres Erachtens der Natur am getreueſten bleibt, nimmt ſieben Grundgeſtalten an, woraus auch eben ſo viele Kryſtallſyſteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierſeitige Pyramide; 4) das Orthotyp (gerade, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide); 5) das Hemiorthotyp (ſchiefe, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene einer Diagonale); 6) das Hemianorthotyp (ſchiefe, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene beider Diagonalen); 7) das Anorthotyp (ſchiefe ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene ſchief auf einander ſtehenden Diagonalen). Die daraus hervorgehenden Kryſtallſyſteme heißen in der Ordnung der angeführten Grundgeſtalten: 1) das teſſulariſche; 2) das rhomboedriſche; 3) das pyramidale; 4) das orthotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Das erſte dieſer Syſteme umfaßt alle vielaxigen Geſtalten, die übrigen alle einaxigen. **Weiß** und **Naumann** nehmen 6 Kryſtallſyſteme an. Sie heißen nach erſterem: 1) das reguläre; 2) das zwei- und einaxige; 3) das drei- und einaxige; 4) das ein- und einaxige; 5) das zwei- und eingliedrige und 6) das ein- und eingliedrige. Dieſelben Syſteme haben bei **Naumann** folgende Benennungen: 1) das iſometriſche; 2) das monodimetriſche; 3) das monotrimetriſche; 4) das aniſometriſche; 5) das monoklinometriſche und 6) das triklinometriſche. Die erſten drei Syſteme **Weiß's** und **Naumann's** fallen mit den erſten von **Mohs** völlig zuſammen.

124. Mit der äußeren, regelmäßigen oder ſymmetriſchen Geſtalt der Kryſtalle ſteht auch eine große Regelmäßigkeit der **Structur** in Verbindung. Es laſſen ſich nämlich die meiſten kryſtalliſirten Körper, ſelbſt wenn ſie nur Bruchſtücke ganzer Kryſtalle ſind, nach gewiſſen Richtungen ſo theilen (ſpalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt dieſe Richtungen den **Blätterdurchgang**. Solcher Durchgänge gibt es in demſelben Körper wenigſtens drei, oft mehrere, doch läßt ſich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen; einige Körper geſtatten dieſes überhaupt nur ſehr ſchwer, und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal ſogar nur durch ein beſonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Kryſtall nach verſchiedenen Blätterdurchgängen ſpaltet, erhält man auch verſchiedene Theilungsgeſtalten; verrichtet man aber die Theilung nach den deutlichſten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig iſt, ſo erhält

man eine ſymmetriſche, oft ſogar regelmäßige Geſtalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältniſſe überhaupt zuerſt kennen lehrte, Kerngeſtalt (forme primitive) nennt, während er die Geſtalt des ganzen Kryſtalls abgeleitete Geſtalt (forme secondaire) heißt. Fährt man fort, den Kern ſowohl als die abgenommenen Blätter weiter zu ſpalten, ſo erhält man lauter kleine, ſymmetriſche Körperchen, die ſich an Geſtalt durchaus gleichen. Haüy nennt ſie Ergänzungstheilchen (molécules intégrantes). Man braucht ſich nicht mit der wirklichen Theilung zu befaſſen, ſondern kann die Geſtalt ſolcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge erkennen. So z. B. iſt es leicht einzuſehen, daß bei einem Hexaeder, einen Rhomboidaldodekaeder und einem ſechsſeitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend ſind, die Ergänzungstheilchen die Geſtalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiſeitigen Prisma's haben müſſen.

Als Beiſpiel einer hieher gehörigen Unterſuchung mag die Spaltung eines Kalkſpathes dienen, der in der Form einer ſechsſeitigen Säule erſcheint, wie Fig. 40 zeigt. Setzt man in a b parallel mit A B ein Meſſer an, und drückt darauf, ſo ſpringt ein Stück a b c d weg. Dasſelbe geſchieht, wenn man das Meſſer parallel mit D F oder C E anſetzt, nicht aber in Richtungen, die mit A C, B D oder E F gleichlaufend ſind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit H K, L M, I G mit Erfolg die Spaltung verſuchen, nicht aber in Richtungen, die mit G H, K M, L I gleichlaufend ſind. Wenn man ſo mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedriſche Kerngeſtalt. Daß eine ſolche Spaltung nicht bei jedem Kryſtalle ausführbar ſey, kann man wohl leicht begreifen; ſie iſt auch zur Kenntniß der Kerngeſtalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Kryſtalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Meſſung beſtimmt, ſo kann man mittelſt Rechnung die Geſtalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach dieſen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt ſechs Kerngeſtalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebſt dem regelmäßigen, auch noch jede vierſeitige Pyramide verſteht); 4) das regelmäßige ſechsſeitige Prisma; 5) das Dodekaeder mit vierſeitigen Flächen; 6) das Triangulardodekaeder. Ueber die Anzahl und Geſtalt der Ergänzungstheilchen iſt man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen bloß ſphäriſche Ergänzungstheilchen an, andere polyedriſche. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiſeitige Säule als ſolche, weil dieſe Körper von der möglichſt geringſten Anzahl von Flächen begrenzt ſind, durch welche überhaupt ein Raum eingeſchloſſen werden kann, und zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus dieſen Theilchen läßt er die Kryſtalle dadurch entſtehen, daß ſie ſich reihenweiſe an einander legen. Die große Verſchiedenheit der Kryſtallgeſtalten bei einer ſo geringen Anzahl von verſchiedenen Elementen, aus denen ſie beſtehen, leitet er daraus her, daß die Schichten ſtufenweiſe abnehmen, ſo wie ſie ſich von der Kerngeſtalt entfernen, und zwar entweder bloß an den Ecken oder an den Kanten oder in einer Zwiſchenlage. Man kann ſich dieſes am beſten durch Modelle verſinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76. 229. Unterſuchungen über die Formen der unorganiſchen Natur, von Hausmann. Gött. 1822.)

125. Kryſtalliſirte Körper weichen oft in ihren phyſiſchen Eigenſchaften von unkryſtalliſirten Stoffen derſelben Natur ſehr ſtark ab, wovon der Grund darin liegt, daß bei erſteren die Cohärenzkraft frei wirken kann, während ſie bei letzteren durch äußere Umſtände beſchränkt wird. Die meiſten Körper werden durch Kryſtalliſiren ſpröder und härter; es iſt aber eine Kryſtallfläche nicht an allen Stellen gleich hart, ſondern man bemerkt nach verſchiedenen Richtungen derſelben Fläche Härteunterſchiede, noch größere aber an verſchiedenen Flächen desſelben Kryſtalls, und es ſcheinen dieſe Unterſchiede mit der Lage der betreffenden Fläche gegen die Axen der Kryſtallgeſtalt in genauer Verbindung zu ſtehen. (Frankenheim in Zeitſch. 9; 94, 194 und 332.) Der Kohlenſtoff und die Thonerde erlangen durch das Kryſtalliſiren eine unglaubliche Härte, wie man dieſes am Diamant und am Saphir ſieht. Undurchſichtige Stoffe werden durch Kryſtalliſiren oft durchſichtig, wie die meiſten Edelſteine darthun, andere werden dadurch undurchſichtig, wie z. B. der Phosphor. Kryſtalliſirte Stoffe werden durch ihre größere Härte geeignet, chemiſchen Kräften ſtärker zu widerſtehen, als unkryſtalliſirte. Darauf beruht die Bereitung des Metallatlaſſes (moiré métallique), das Damasciren des Stahls, die Eigenſchaft des Meteorſtahls durch ein Aetzmittel ſtrahlige Zeichnungen anzunehmen. Beim Schmelzen des Eiſes bleiben die zuerſt entſtandenen regelmäßigen Eisnadeln am längſten feſt. Viele Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren Waſſer auf, und verbinden ſich mit demſelben chemiſch. Man nennt es Kryſtalliſationswaſſer. Dieſes verlieren manche wieder in der Luft, und büßen dadurch zugleich ihre Geſtalt ein (verwittern), während andere noch mehr aus der Luft aufnehmen und zerfließen. Gegen beides kann man ſie ſchützen, indem man ſie in ein verſchloſſenes Gefäß gibt, worin ſich etwas Terpentinöhl befindet, das verdünſtet, und ſo eine eigene Atmoſphäre um den Kryſtall bildet. Beim Erhitzen ſchmelzen Kryſtalle, welche viel Kryſtalliſationswaſſer enthalten. Manche Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren tropfbares Waſſer, einen Theil der Mutterlauge oder auch andere Flüſſigkeiten, ja ſogar Gaſe auf. So findet man oft in Bergkryſtallen Waſſertropfen.

Brewſter hat in Topaſen, Amethiſten ꝛc. ſehr viele Höhlungen (in einem Stück Cymophan von 1/7 Q. Zoll Fläche fand er deren 30,000) entdeckt, die mit eigenen Flüſſigkeiten angefüllt waren; ſelbſt mitten im Eis fand er Waſſertropfen. (Zeitſch. 1. 414.) Nach Dumas enthält das ſogenannte Kniſterſalz, wie man es in Wieliczka, Hallſtadt ꝛc. findet, Waſſerſtoffgas und das Freiwerden desſelben verurſacht das beim Auflöſen dieſes Salzes im Waſſer bemerkbare Kniſtern. In Flußſpathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüſſigkeit eingeſchloſſen, die im Freien Flußſpathkryſtalle abſetzte; mit Schwerſpath erfolgte dasſelbe (Zeitſch. 5. 107.); die in Bläschen von Kochſalzkryſtallen enthaltene Flüſſigkeit liefert aber kein Kochſalz, ſondern enthält ſalzſaure Bittererde. (Zeitſch. 7. 238.)

126. Der Zuſammenhang zwiſchen der Kryſtallgeſtalt und der materiellen Beſchaffenheit der Körper läßt

ſich bei dem gegenwärtigen Stande der Dinge nur aus der Erfahrung entnehmen. Dieſe lehrt, daß derſelbe Stoff in verſchiedenen, ſowohl einfachen als Combinationsgeſtalten kryſtalliſiren könne, doch gehören dieſe Geſtalten meiſtens, aber nicht immer, zu derſelben Grundform, mithin in dasſelbe Kryſtallſyſtem. Im Allgemeinen hängt die Kryſtallgeſtalt nicht, wie Haüy meint, von der materiellen Beſchaffenheit der ſich zu einem Kryſtall verbindenden Theilchen, ſondern von der Anzahl und Verbindungsweiſe der Atome ab, es können die Atome a, b, c dieſelbe Kryſtallgeſtalt hervorbringen, wie die von ihnen ganz verſchiedenen d, e, f, und zwei Stoffe können, zu einem Körper verbunden, in verſchiedenen Kryſtallformen erſcheinen.

So z. B. kryſtalliſirt Zinkvitriol wie Kupfervitriol, wenn man ihm ⅐ des letzteren zuſetzt, und dadurch den Waſſergehalt beider einander gleich macht; Phosphorſäure gibt mit jeder Baſis dieſelben Kryſtalle, und es läßt ſich eine Baſis eines phosphorſauren Salzes durch eine andere ohne Störung der Kryſtallgeſtalt erſetzen. Mancher Stoff kryſtalliſirt bloß darum bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, weil er eine verſchiedene Waſſermenge in ſeine Miſchung aufnimmt, und ſich die Anzahl der ſich verbindenden Atome nach der Temperatur richtet; mancher Stoff hat darum eine ſo große Fähigkeit, anderen in der geringſten Menge beigemiſcht, ſeine Kryſtallgeſtalt aufzudringen, weil er ſchon in einer geringen Quantität eine mit ſeiner natürlichen Miſchung gleiche Atomenzahl hervorbringt. — Von einer Aenderung der Verbindungsweiſe der Atome hängen auch jene Umbildungen ab, die manche Kryſtalle erleiden, ohne vorher in den flüſſigen Zuſtand überzugehen, und welche deutlich beweiſen, daß in einigen Fällen ſchon die an der Elaſticität der Körper erkennbare Verſchiebbarkeit der Theile zur Kryſtalliſirung hinreiche, beſonders wenn ſie durch eine Temperaturerhöhung begünſtigt wird. Kocht man z. B. einen Kupfer- oder Zinkvitriolkryſtall langſam in Alkohol, ſo wird er matt, behält jedoch ſeine Form bei; zerbricht man ihn aber, ſo zeigt er im Innern unzählige, neugebildete Kryſtalle, die von der Form des Ganzen abweichen. Kryſtalle von ſchwefelſ. Salzen, die bei mittlerer Luftwärme entſtanden ſind, zeigen, wenn ſie einige Zeit dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren, nach dem Zerbrechen, im Innern neu gebildete Kryſtalle. Siehe Mitſcherlich in Pogg. Ann. 11. 323; 12. 137; 17. 385. Haidinger in Pogg. Ann. 6. 191; 11. 173, 366. Vergleiche hiemit Schweigg. J. 49. 245; 51. 163; 54. 205, 358.

127. Sowohl die Formen der Kryſtalle als die Phänomene ihrer Entſtehung (119 u. 120) weiſen deutlich darauf hin, daß die Molekel der Körper nicht ſphäriſch, ſondern polyedriſch ſind; denn mit einer ſphäriſchen Geſtalt läßt ſich das Daſeyn von Stellen, wo die Anziehung ſtärker iſt, als anderen (120), durchaus nicht vereinbaren, während die bereits vorgetragenen Lehren, ja ſogar die verſchiedenen Modificationen des feſten Zuſtandes, wovon in der Folge die Rede ſeyn wird, aus der Annahme polyedriſcher Theilchen ſehr wohl begreiflich werden. Sind dieſe Theile ſich ganz ſelbſt überlaſſen, ſo nehmen ſie jene Lage an, bei welcher ihre Anziehung am größten ausfällt, und dieſe Lage beſtimmt dann die Kryſtallgeſtalt. Es iſt klar, daß bei mehreren ſolchen Lagen ein Maximum der Anziehung eintreten kann,

und daß daher bei derſelben Beſchaffenheit der Molekel doch verſchiedene Kryſtallformen möglich ſind, ja es iſt nicht ſchwer zu begreifen, daß zwei Stoffe ſich gegenſeitig, ohne die Kryſtallgeſtalt zu ſtören, vertreten können; denn es wird dazu nur erfordert, daß ihre Molekel entweder gleich geſtaltet ſeyen, oder daß in ähnlichen Lagen derſelben ein Maximum der Anziehung Statt finde. (Die Kryſtalliſation in geometriſcher und phyſikaliſcher Hinſicht von Brochant de Villiers. Heidelberg, 1820. Mohs's Naturgeſchichte des Mineralreichs. Wien, 1832. Grundriß der Kryſtallographie von Naumann. Leipzig, 1830. Geſchichte der Kryſtallkunde von Marx. Carlsruhe, 1825. Elemente der Kryſtallographie von G. Roſe. Berlin, 1833. Gehlers neues Wörterbuch, Artikel: Kryſtallometrie.)

B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper.

128. Die Theile feſter Körper befinden ſich in ſtabilem Gleichgewichte unter einander, indem nur durch eine beſtimmte Kraft eine Aenderung ihrer Lage bewirkt wird. Dieſe Aenderung ſelbſt iſt entweder eine bleibende oder eine nach Wegnahme der ſie bewirkenden Kraft wieder verſchwindende, gerade ſo wie ein ſtabiler, ſchwerer Körper durch eine ſeiner Stabilität entgegenwirkende Kraft wieder in eine andere ſtabile Lage gebracht wird, oder nur ſeine alte Lage verläßt, ſo lange die Wirkung jener Kraft dauert, hierauf aber ſie wieder einnimmt. Die verſchiedene Größe der Stabilität der Theile unter einander und die Anzahl ihrer möglichen ſtabilen Lagen begründet verſchiedene Modificationen des feſten Zuſtandes.

129. In ſoferne die Lage der Theile eines feſten Körpers durch eine äußere Kraft geändert wird, aber wieder zurückkehrt, ſobald dieſe Kraft zu wirken aufhört, heißt ein Körper elaſtiſch. Es liegt im Begriffe der Stabilität, daß jeder feſte Körper elaſtiſch, ja für Kräfte, die eine gewiſſe Grenze nicht überſchreiten, ſogar vollkommen elaſtiſch ſey, d. h. nach Wegnahme der ſtörenden Kraft ſeine vorige Geſtalt und Dichte vollkommen wieder annehme; doch wird die Größe der größten Kraft, für welche er noch vollkommen elaſtiſch iſt, für verſchiedene Körper, ja ſelbſt für denſelben Körper unter verſchiedenen Umſtänden verſchieden ausfallen, gleichwie die Stabilität verſchiedener oder desſelben ſchweren Körpers in verſchiedenen Lagen eine verſchiedene Größe hat. Die größte jener Kräfte, für welche ein Körper noch vollkommen elaſtiſch iſt, beſtimmt die Größe der Elaſticität, und die Größe der Dehnung, welche er durch ſie erleidet, die Elaſticitätsgrenze. Die Größe der Dehnung kann man, wie ſpäter zu erwähnende Verſuche lehren, innerhalb der Elaſticitätsgrenze ohne merklichen Fehler der dehnenden Kraft proportional ſetzen. Der Quotient den man erhält, wenn man dieſe durch jene dividirt, heißt das Elaſticitätsmaß (Elaſticitäts-Modulus). Bei einem durchaus homogenen Körper iſt das Elaſticitätsmaß nach allen Richtungen gleich groß; bei kryſtalliſirten iſt dieſes nicht allgemein, ſondern nur für vielarige Kryſtalle der Fall. (Mehr hierüber in der Akuſtik.) Sowohl

die Größe als die Grenze der Elaſticität iſt bei verſchiedenen Körpern verſchieden, und beide ändern ſich oft bei demſelben Körper. So haben z. B. gehärteter Stahl, geſchlagenes Meſſing, Elfenbein, Federharz, Fiſchbein ꝛc. eine bedeutende Elaſticität; Stahl hat eine größere Elaſticitätsgrenze als Eiſen; friſches Holz eine größere als trockenes, geſchmiedete Metalle eine größere als gegoſſene, Wärme und ſchnelles Abkühlen nach ſtarker Erhitzung verändern die Elaſticitätsgrenze. Auch die Geſtalt der Körper hat hierauf Einfluß, wie man am Glaſe ſieht, das in dünnen Fäden eine größere Elaſticitätsgrenze hat, als in Klumpen. Der innere Grund dieſer Verſchiedenheiten liegt höchſt wahrſcheinlich wieder in der verſchiedenen Geſtalt der Atome und in ihrer gegenſeitigen Entfernung von einander.

Nach Lagerhjelm erleiden alle Arten Eiſen, ſie mögen hart, weich oder brüchig ſeyn, bei gleichen Dimenſionen durch gleiche Kräfte eine gleiche Dehnung und ſind gleich elaſtiſch; aber ihre Elaſticitätsgrenze iſt nicht dieſelbe, ſondern bei hartem Eiſen größer als bei weichem, bei Stahl größer als bei Eiſen. Durch Strecken wird die Elaſticitätsgrenze erweitert, aber die Elaſticitätsgröße unverändert gelaſſen. Folgende Zahlen verhalten ſich wie die Elaſticitätsmaße der beigeſetzten Stoffe: für Stangeneiſen 1070, für Stahl 1085, für Gußeiſen 658, für Kupfer 686, für gezogenes Meſſing 522, für gegoſſenes 325, für Silber 443, für Blei 118, für Glas 368. (Lagerhjelm's Verſuche über die Dichtigkeit, Elaſticität, Schmiedbarkeit und Stärke des Eiſens. Nürnberg, 1829.) Young, der den Begriff Elaſticitätsmodul zuerſt in die Phyſik einführte (*Lectures on natural phil. Tom I. p. 137.*), verſteht darunter jene Zahl x, die ſich zu dem Gewichte p, das durch ſeinen Druck eine beſtimmte Verkürzung eines Körpers hervorbringt, ſo verhält, wie die Länge l des geänderten Körpers zur Verkürzung c; oder es iſt $x = \frac{p\,l}{c}$. Für $l = 1$ wird $x = \frac{p}{c}$ und in dieſer Bedeutung wird das Elaſticitätsmaß auch hier genommen.

130. Das Verhältniß der Größe der Dehnung oder Compreſſion, welche ein elaſtiſcher Körper innerhalb der Elaſticitätsgrenze von Kräften erleidet, zu dieſen Kräften, zeigen Verſuche, wie ſie s'Graveſande und Coulomb ꝛc. angeſtellt haben. Es wurden zu dieſem Zwecke 1) metallene Saiten durch angehängte Gewichte ausgedehnt, und die dadurch entſtandenen Verlängerungen gemeſſen. Solche Stangen wurden freilich auch dünner, beſonders an einzelnen ſchwächeren Stellen, und die Theile mußten einander daſelbſt näher gekommen ſeyn, allein nach Cagniard Latour beträgt dieſe Verminderung der Dicke nur $1/2$ von der Vergrößerung der Länge; 2) Metallfedern zuſammengedrückt und ausgedehnt; 3) dünne Stäbe an einem Ende in horizontaler Lage befeſtiget und am anderen durch Gewichte gebogen; 4) Kugeln von Elfenbein, Cautſchouk oder Metall auf eine mit Fett dünn überzogene, ebene Platte von einer beſtimmten Höhe im freien Falle herabgelaſſen, und der beim Zuſammendrücken entſtandene, kreisrunde Fleck auf der Platte gemeſſen; 5) lange Drähte vertical am oberen Ende befeſtiget, am unteren durch ein Gewicht geſpannt, das mit einem horizontalen Zuge verſehen war, durch deſſen Bewegung

der Draht ſelbſt um einen beſtimmten Winkel gedreht werden konnte. — Dieſe Verſuche geben das merkwürdige Reſultat, daß innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität alle räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper den Kräften proportionirt ſind, durch die ſie hervorgebracht werden. Da aber dieſe Kräfte dem Widerſtande des elaſtiſchen Körpers gleich ſind; ſo kann man auch ſagen: Die räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper ſind dem Widerſtande proportionirt, den die Elaſticität leiſtet.

131. Wird die Geſtalt eines feſten Körpers über die Elaſticitätsgrenze hinaus durch eine Kraft geändert, ſo treten ſeine Theile in ein neues ſtabiles Gleichgewicht und der Körper iſt in dieſem abermals elaſtiſch, hat aber meiſtens eine andere Größe und Grenze der Elaſticität, oder es erfolgt eine Trennung desſelben. Im erſten Falle heißt er dehnbar, im zweiten ſpröde; erleidet ein Körper ſchon durch ſehr geringe Kräfte eine bleibende Formveränderung, ſo heißt er weich, braucht er dazu eine ſehr große Kraft, ſo nennt man ihn hart. Hämmerbarkeit, Streckbarkeit ꝛc. ſind beſondere Formen der Dehnbarkeit. Die Größe der Dehnbarkeit wird durch die Verlängerung beſtimmt, welche ein Körper, ohne zu zerreißen, verträgt. Sie iſt von der Natur der Körper und von deren Temperatur abhängig, und überhaupt deſto größer, je höher letztere iſt. Sprödigkeit iſt als ein ſehr geringer Grad von Dehnbarkeit anzuſehen, und wird beſonders durch ſchnelles Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erzeugt, wie beſonders das Glas zeigt, das, um nicht ſpröde zu ſeyn, ſtets eine ſehr langſame Abkühlung fordert. (Bologneſer-Fläſchchen, Glastropfen, Glaswürmer.) Der Grund dieſer Eigenſchaft feſter Körper liegt wieder ohne Zweifel in der polyedriſchen Geſtalt ihrer Molekel und ihrer gegenſeitigen Entfernung. Gleichwie ein ſchweres Polyeder mehrere Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes hat, deren immer eine durch eine labile Lage in die andere übergeht; ſo können auch polyedriſche, durch anziehende Kräfte zu einem Körper verbundene Atome mehrere ſtabile Gleichgewichtslagen haben und aus einer in die andere übergehen, mithin dehnbar ſeyn. Je mehr Flächen die Atome begrenzen und je weniger dieſe von einander abſtehen, deſto näher liegen die Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes einander und deſto dehnbarer muß der Körper ſeyn. Je kleiner die Stabilität und je näher die Stabilitätslagen einander ſind, deſto weicher wird ein Stoff ausfallen.

Nach Lagerhjelm iſt für Eiſen das Product aus der Elaſticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine conſtante Größe. — Nach der Größe der Hämmerbarkeit folgen die Metalle in folgender Ordnung auf einander, vom hämmerbarſten angefangen: Blei, Zinn, Gold, Zink, Silber, Kupfer, Platin, Eiſen. Nach der Größe des Widerſtandes beim Ausziehen zu Draht folgen die Metalle nach Karmarſch (Jahrb. des k. k polyt Inſt. 17. 323) ſo auf einander: Stahl hartgezogen, Eiſen, Meſſing, Gold geglüht, Stahl geglüht, Kupfer hart gezogen, 12löth. Silber geglüht, 14löth. Silber geglüht, Meſſing, Eiſen, Platin, Kupfer, feines Silber, Zink, feines Gold, Zinn, Blei. Nach der Leichtigkeit, mit der ſie ſich zu Blech walzen laſſen, ſtehen

ſie in folgender Reihe: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Platin, Eiſen.

132. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen ſeiner Dehnbarkeit von einander entfernt, ſo erfolgt eine Trennung derſelben, weil ſie die Grenzen der Wirkungsſphäre der anziehenden Kraft überſchreiten, und der Körper wird zerriſſen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingeſpannt und am anderen Ende ſo lange mit Gewichten belaſtet, bis es reißt. Dieſes Gewicht, um ſo viel vermehrt, als das abgeriſſene Stück ſelbſt wiegt, iſt zwar etwas größer als der Zuſammenhang der getrennten Theile, kann aber für die Größe des Zuſammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Laſt nur um kleine Unterſchiede wachſen ließ. Man kann das zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig beſtimmen, und durch einen zweiten genaueren Verſuch verbeſſern. Beim Zerdrücken ſetzt man den Körper auf eine feſte Unterlage und belaſtet ihn von oben ſo lange, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befeſtiget und außer der unterſtützten Stelle belaſtet, bis der Zweck erreicht iſt. Beim Zerdrehen befeſtiget man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am anderen die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreiſes wirkt und ihn zu drehen ſucht. Dem Zerreißen müſſen Stricke, Ketten ꝛc., dem Zerdrücken Säulen, verticale Balken an Gebäuden, Brückenpfeiler, dem Zerbrechen alle Querbalken, dem Zerdrehen die Wellbäume an Rädern widerſtehen.

133. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querſchnitte an der Trennungsſtelle ab. Sollen daher Zerreißungsverſuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verſchiedener Körper zu ſchließen erlauben, ſo müſſen dieſe gleiche Querſchnitte haben, oder man muß die Reſultate durch Rechnung auf gleiche Querſchnitte reduciren.

Verſuche dieſer Art ſind von vielen Gelehrten angeſtellt worden; man beſchränkte ſich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man ſich von dieſen die größte Anwendbarkeit verſprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Feſtigkeit haben, als die Hölzer, daß aber ſelbſt unter Metallen eine große Verſchiedenheit in Bezug auf Feſtigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Umſtänden ergibt ſich aus Muſſchenbroek's Verſuchen folgende Ordnung der Metalle vom feſteſten angefangen: Eiſen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegoſſene Metalle ſind in der Regel ſchwächer als geſchmiedete; warme ſind wieder ſchwächer als kalte. Bei den meiſten Metallen hat ſchnelles Abkühlen eine große Veränderung der Feſtigkeit zur Folge, doch iſt dieſe Veränderung nicht für alle von derſelben Art. So wird z. B. Eiſen dadurch ſtärker, Kupfer ſchwächer. Mäßiges Hämmern ſtärkt, zu heftiges ſchwächt den Zuſammenhang, letzteres wahrſcheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit ſo ſehr vermehrt daß der geringſte, ungleich angebrachte Schlag kleine Riſſe erzeugt. Die chemiſche Miſchung ändert die Feſtigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht bloß auf die Verſchiedenheit der in der Miſchung enthaltenen Stoffe an, ſondern auch auf das Verhältniß

ihrer Mengen. Dieſes beſtätigen die Compoſitionen zu Stückgut, Glockenſpeiſe, Tomback, Semilor. Oft reicht ein ſehr kleiner Zuſatz eines Stoffes hin, die Feſtigkeit ungemein zu verſtärken. So wird Eiſen durch Kohlenſtoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch $^1/_5$ pCt. Silber, oder noch beſſer durch $^1/_2$ pCt. Rhodium ungemein verbeſſert. (Gilb. Ann. 69. 179.) Holz iſt ſchwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiſte Feſtigkeit; alle weichen Holzarten ſind viel ſchwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Feſtigkeit ſo auf einander: Buche, Eſche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz desſelben Namens hat auch dieſelbe Stärke: denn anders iſt die Feſtigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachſen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja an demſelben Baume haben Stamm, Aeſte und Wurzeln eine verſchiedene Feſtigkeit. Um die Feſtigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man ſelbe von verſchiedener Dicke, aus einer verſchiedenen Anzahl von Litzen und Fäden beſtehend, von verſchiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht. Den Verſuchen gemäß ſind Stricke von derſelben Dicke deſto ſtärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem ſie beſtehen, und je weniger ſie zuſammengedreht ſind. Durch das Zuſammendrehen kommen die Fäden ſchon in einen geſpannten Zuſtand, den man ſo anſehen kann, als trügen ſie ſchon ein Gewicht. Deßhalb ſollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch $^1/_6$ ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zuſammendrehen entſtehenden Nachtheil zu beſeitigen, ſchlauchförmig gewebte Stricke empfohlen Naſſe Hanfſeile und Baumwollengarne ſind ſtärker als trockene, ungetheerte ſtärker als getheerte. Geflochtene Schnüre ſind ſtärker als gedrehte, ungebleichte ſtärker als gebleichte, ſeidene ſtärker als leinene von derſelben Dicke; eine Schnur von Menſchenhaar iſt ſtärker, als eine eben ſo dicke von Pferdehaaren. — Nach Gerſtner's Verſuchen, die mit Clavierdrähten, Stahlſedern und Blechſtreifen angeſtellt wurden, herrſcht zwiſchen der dehnenden Kraft p und der dadurch bewirkten Dehnung e folgende Relation: $p = e(A - Be)$, wo A und B durch Verſuche zu beſtimmende Größen ſind. Daraus ergibt ſich für die größte Dehnung E die Gleichung $E = \frac{A}{2B}$ und für die größte dieſer Dehnung entſprechende Belaſtung $P = \frac{1}{2} AE$. (Gerſtner's Mechanik Bd. I. S. 263.)

134. Beim Zerdrücken fallen die Reſultate der Verſuche ſehr verſchieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz iſt. Am reinſten ſind ſie bei kurzen Körpern, weil dieſe ſich nicht biegen. Auch hier ändert ſich zuerſt der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft, er verkürzt ſich und wird dicker; ſo wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben, oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinabgleiten. Harte, homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln, einige Steine theilen ſich zuerſt in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt ſind, und die keilförmig auf einander wirken, bis ſie ſich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächſt mit dem Querſchnitte, und iſt bei einerlei Größe desſelben deſto bedeutender, je kleiner der Umfang dieſes Querſchnittes iſt. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerſtand des Körpers.

135. Eine Kraft, die einen Körper zu **zerbrechen** ſucht, entfernt zuerſt die an der convexen Seite liegenden Theile, und nähert die an der concaven liegenden; nur gewiſſe im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile eines Querſchnittes ſo ſehr gedehnt, daß ſie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten ſo ſehr einander genähert, daß ohne Zerdrücken keine weitere Annäherung mehr möglich iſt; ſo erfolgt bei der geringſten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieſer zeigt ſich bei verſchiedenen Körpern auf verſchiedene Weiſe. Beim Glas, bei Steinen und gegoſſenen Metallen trennen ſich alle Theile eines Querſchnittes auf einmal; bei Hölzern findet nur an der am meiſten convexen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geſchmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander, und treten gleichſam in ein neues Gleichgewicht. Uebrigens richtet ſich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimenſionen des Körpers; ſie wächſt, wie die Breite und das Quadrat der Höhe zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper ſind im Verhältniſſe zu ihrer Maſſe ſtärker als maſſive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Maſſe viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (**Duhamel** in Erſch's und Gruber's Encykl. B. 18. 212.)

136. Wirkt eine Kraft ſo auf einen Körper, daß ſie ihn zu drehen ſucht, ſo werden die Theile außer dem befeſtigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher deſto größer iſt, je mehr dieſe Theile vom feſten Ende abſtehen. Dadurch kommen jene, welche ſich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befinden, in eine Schraubenlinie zu liegen, und entfernen ſich dabei von einander. Steigt dieſe Kraft ſo weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, ſo erfolgt bei der geringſten Steigerung derſelben ein **Abdrehen**.

137. Den bisher angeführten Erſcheinungen analog ſind diejenigen, welche man bei getrennten Körpern bemerkt, die an mehreren Punkten mit einander in Berührung gekommen ſind. Nimmt man zwei Bleiſtücke, gibt jedem eine ebene und metalliniſche Fläche, drückt ſie an dieſen zuſammen; ſo kann man ſie nur mit großer Kraft wieder von einander trennen. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt ein faſt untrennbares Ganzes. Zwei Stücke weiches Eiſen oder Platin laſſen ſich durch Hammerſchläge zuſammenſchweißen. Nach **Hermbſtädts**, **Cavendiſhs** und Anderer Verſuchen ſollen manche Körper ſchon in einiger Entfernung ein Beſtreben zur Vereinigung äußern.

138. Faßt man alles, was die in dieſem Kapitel angeführten Thatſachen und Geſetze in Betreff der Wirkungsweiſe der Molekularanziehung bei feſten Körpern lehren, zuſammen, ſo gewinnt man die Ueberzeugung: 1) daß die Molekularanziehung von der Natur der kleinſten Theile, denen ſie zukommt, und von ihrer Temperatur abhängt, 2) daß ſie wohl in die Entfernung wirkt, aber mit wachſender

Diſtanz der betreffenden Theile ſehr ſchnell abnimmt und bei kaum merklicher Diſtanz ſchon als verſchwindend klein angeſehen werden muß; wegen der ungemeinen Kleinheit der Molekel und ihrer Entfernungen von einander kann es aber deßungeachtet ſeyn, daß ſich die Kraft eines Theilchens ſelbſt ohne merkliche Abnahme der Intenſität auf ſehr viele andere erſtreckt. Dieſe wenigen Sätze machen die Baſis der neueſten, von Poiſſon mit ſo gutem Erfolg angeſtellten, mathematiſchen Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung der Körper aus. (*Mémoires de l'Acad. T. 8.*)

Siehe Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1; in Pogg. Ann. 8. 25; Mitis in Zeitſch. 3. 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Verſuche über den Widerſtand des geſchmiedeten Eiſens. Aus dem Franz. Leipzig, 1825. Tredgold über die Feſtigkeit des Gußeiſens. Aus dem Engl. Leipzig, 1826. Ampère in Pogg. Ann. 26. 161. Frankenheim, die Lehre von der Cohäſion ꝛc. Breslau, 1835. Von den älteren Werke hierüber ſind vorzüglich zu bemerken: *Musschenbroek introd. in cohaerent. corp. firm. Lugd. Bat.* 1725. *G. s'Gravesande elementa physicae. Leidae*, 1742. *pag.* 367. *c. s.*

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern (Hydroſtatik).

A. Ueber Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere.

139. Das Weſen des flüſſigen Zuſtandes beſteht in der abſolut leichten (d. h. durch die kleinſte denkbare Kraft bewirkbaren) Verſchiebbarkeit der Theile nach allen Richtungen. Sie kann offenbar nur in Körpern Statt finden, deren Molekel ſo weit von einander entfernt ſind, daß die Wirkung jedes einzelnen rings um den Mittelpunkt ſeiner Maſſe von gleicher Stärke iſt, und demnach ſo erfolgt, als wären dieſe Theilchen ſphäriſch. Die abſolute Verſchiebbarkeit der Theile iſt die Grundlage aller Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung flüſſiger Körper, und alle mechaniſchen Erſcheinungen ſolcher Körper ſind Folgen dieſer Eigenſchaft und der auf die kleinſten Theile wirkenden Kräfte.

140. Eine natürliche Folge der abſoluten Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß ſich in einer flüſſigen Maſſe die Wirkung einer Kraft, welche nur nach *einer* beſtimmten Richtung zielt, nach *allen* Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke ſich in einem von allen Seiten geſchloſſenen Gefäße ABCD (Fig. 41) eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer (von deſſen Schwere man vor der Hand abſehen kann) und über einer Oeffnung GH desſelben einen dicht anſchließenden Kolben EFGH, der mit der Kraft P abwärts drückt. Dieſer Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die Waſſertheilchen, welche die untere Kolbenfläche berühren, pflanzt ſich aber durch dieſe nach allen Richtungen

fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung iſt für ſich klar, weil nach dieſer Richtung die Kraft P wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß ſie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und zwar wird jedes Stück ſowohl des Bodens CD, als auch der Wände AD, BC, AH, GB, welches der Kolbenfläche GH an Flächeninhalt gleich iſt, mit der Kraft P auswärts gedrückt. Verhält ſich daher die Fläche GH zur Fläche des Stückes LM der Seitenwand BC, wie a zu b, und nennt man den Druck, welchen LM in Folge der Einwirkung der Kraft P auf GH leidet, Q, ſo beſteht die Proportion $P:Q = a:b$. Denkt man ſich eine Oeffnung bei LM, und dieſe durch einen Kolben geſchloſſen, auf den die Kraft Q nach einwärts wirkt, ſo halten die Kräfte P und Q einander das Gleichgewicht. Eine Vorrichtung dieſer Art läßt ſich demnach als eine einfache Maſchine betrachten, wobei das Gefäß ABCD jede beliebige Form haben, und die Oeffnungen GH, LM an beliebigen Stellen desſelben angebracht ſeyn können.

141. Eine weitere Folge der abſoluten Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß eine flüſſige Maſſe nur dann im Gleichgewichte ſtehen kann, wenn ſich die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für ſich im Gleichgewichte befinden, mithin wenn ſich dieſe Kräfte ſelbſt aufheben oder durch einen Widerſtand aufgehoben werden. Einen ſolchen Widerſtand leiſten die Wände der Gefäße durch ihre Feſtigkeit, auch die Theile tropfbarer Flüſſigkeiten durch ihre Unzuſammendrückbarkeit; bei den Theilen ausdehnſamer Flüſſigkeiten wirkt ihr Beſtreben, ſich auszudehnen, den äußeren Kräften entgegen. Hieraus kann man nun klar einſehen, daß das Gleichgewicht einer flüſſigen Maſſe nicht geſtört wird, wenn man einen Theil derſelben durch eine feſte Wand erſetzt, welche durch ihre Feſtigkeit dasſelbe leiſtet, was die von ihr verdrängten flüſſigen Theile durch ihre Unzuſammendrückbarkeit oder Ausdehnſamkeit zu leiſten vermochten; oder umgekehrt, an die Stelle einer feſten Wand flüſſige Theile ſetzt.

142. Befindet ſich eine Flüſſigkeit in einem offenen Gefäße, ſo muß im Stande des Gleichgewichtes die Oberfläche ſo geſtaltet ſeyn, daß die Richtungen der auf ſie wirkenden Kräfte auf ihr ſenkrecht ſtehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden, wovon eine in der zu ihrem Angriffspunkte gehörigen Berührungsebene wirken, und daher ein Hingleiten der Theile längs derſelben verurſachen würde.

143. Nach dieſen Geſetzen richten ſich alle flüſſigen Körper, ſowohl die tropfbaren als die ausdehnſamen, weil ſie auf einer Eigenſchaft beruhen, die beiden gemeinſchaftlich zukommt; doch gibt es ſowohl für die einen als für die anderen Körper auch beſondere Geſetze, und dieſe müſſen durch jene Eigenſchaften beſtimmt werden, auf denen das Weſen des tropfbaren oder ausdehnſamen Zuſtandes beruht. — Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweiſe gehandelt werden ſoll, ſind ſo ſchwer zuſammendrückbar, daß nur ſehr große Kräfte eine merkliche Compreſſion bewirken, und ſie für mäßige Kräfte als völlig un-

zuſammendrückbar angeſehen werden können. Dieſe Eigenſchaft begründet das Daſeyn eigenthümlicher Geſetze für ſolche Körper.

Auf der in 140 beſprochenen Fortpflanzung des Druckes und der Unzuſammendrückbarkeit einer Flüſſigkeit beruht die *Bramah'ſche* Preſſe. (Fig. 42, a, von Außen und 42, b, im Durchſchnitte.) Dieſe beſteht im Weſentlichen aus zwei verticalen, cylindriſchen, mit Waſſer gefüllten Gefäßen A und B von ungleichen Durchmeſſern, die mittelſt einer horizontalen Röhre C mit einander verbunden ſind, und in deren jedem ſich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des engeren mittelſt eines Hebels D auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, ſo wirkt dieſer Druck verſtärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen kann, iſt in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe a angebracht, welche dem Waſſer vom engeren Cylinder in den weiteren zu gehen geſtattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, iſt mit jedem ein Waſſergefäß mittelſt einer Klappe b in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Waſſer in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasſelbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwiſchen dem größeren Cylinder und dem Waſſergefäße durch Umdrehen eines Hahnes c herſtellt, kann das Waſſer wieder aus jenem in dieſes gelangen, worauf der Kolben durch ſein eigenes Gewicht ſinkt und dem Druck auf den Körper, welcher ſich zwiſchen der Kolbenplatte E und dem Gerüſte der Preſſe F befindet, ein Ende macht. Es iſt leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein beſtimmter, unmittelbar am äußerſten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Iſt D der Durchmeſſer des größeren, d derjenige des kleineren Kolbens, A der längere, a der kürzere Hebelarm; ſo wird die am Hebelende wirkende Kraft p durch den Hebel in dem Verhältniſſe $a : A$, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältniſſe $d^2 : D^2$ verſtärkt, und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p \cdot \frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht dieſe Preſſe heut zu Tage häufig in Tuchfabriken, Papiermühlen; auch zum Heben großer Laſten wird ſie verwendet.

144. Starke Kräfte bewirken an tropfbaren Flüſſigkeiten eine Compreſſion, die bis zu einer gewiſſen Grenze der Kraft proportionirt iſt, auch kehrt, wenn dieſe Kraft zu wirken aufhört, das vorige Volum wieder zurück. Solche Körper ſind alſo *vollkommen elaſtiſch*. Dieſes hat zuerſt *Herbert* bewieſen, und *Pfaff*, *Perkins*, *Oerſted*, vorzüglich aber *Colladon* und *Sturm* haben es beſtätiget. *Herbert* bediente ſich des Apparates (Fig. 43), wo A eine hohle, an eine enge Röhre a angeblaſene Glaskugel von bekannter Capacität, B eine erweiterte, aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortſetzung der Röhre a iſt. Die Kugel A befindet ſich in einem waſſerdichten Gefäße C, an deſſen oberer Wand ſich ein Rohr d, von gleichem Durchmeſſer mit a, erhebt. Wird die Kugel A ſammt einem Stück der engen Röhre bis a, ſo wie das die Kugel umgebende Gefäß C bis d mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr B Queckſilber nachgegoſſen, um jene Flüſſigkeit zuſammenzudrücken; ſo braucht man nur den Weg ab, um welchen die Flüſſigkeit

in der Röhre zurückgewichen, und den Weg de, um welchen ſie im Gefäße C geſtiegen iſt, zu meſſen, und den Unterſchied der Volume ab—de mit dem Volum der Flüſſigkeit vor dem Verſuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüſſigkeit von a nach b von der Compreſſion derſelben und von der Ausdehnung der Kugel A, das Steigen de aber bloß von letzterer Urſache herrührt; ſo iſt ab—de offenbar die Größe der Compreſſion, welche die Flüſſigkeit erlitten hat. Theilt man das dieſer Größe entſprechende Volum durch jenes der Flüſſigkeit vor der Compreſſion, ſo erhält man die Größe der Compreſſion. Nach dem Vorgange oben genannter neueren Phyſiker bringt man die zu comprimirende Flüſſigkeit in einen Behälter von Glas, welcher einem Thermometergefäße ähnlich, in eine Röhre ausläuft, die mit einer Volumſcale verſehen iſt. Dieſen Behälter ſtellt man in ein größeres, mit derſelben Flüſſigkeit gefülltes cylindriſches, ſehr ſtarkes Glasgefäß, das an einem Ende geſchloſſen, am anderen Ende aber mit einer Druckpumpe verſehen iſt, um damit ein neues Flüſſigkeitsquantum hinein zu treiben, und hiedurch auf die in beiden Gefäßen enthaltene Flüſſigkeit einen Druck auszuüben. Die Flüſſigkeit im inneren Gefäße reicht bis in die enge Röhre hinein, und iſt von der äußeren Flüſſigkeit durch eine Luftſäule getrennt. Hiedurch kann das Volum, welches die Flüſſigkeit im inneren Gefäße bei verſchiedenen Graden der Compreſſion einnimmt, leicht beſtimmt werden, und dieſes Volum wäre, wenn das Glas als ein unzuſammendrückbarer Stoff betrachtet werden dürfte, reines Ergebniß des Druckes, da dann das Gefäß ſelbſt, welches von außen und innen denſelben Druck erfährt, keine Volumsänderung erleiden würde. Man muß daher die Compreſſion des Glaſes in Rechnung bringen, wodurch die Reſultate vergrößert werden. Um die Größe des Druckes in jedem Augenblicke angeben zu können, wird in das äußere Gefäß ein mit Luft gefülltes und durch Queckſilber geſperrtes Rohr geſetzt, und aus der, durch die Volumſcale, womit es verſehen iſt, angezeigten Compreſſion der Luft, mit Rückſicht auf die Compreſſion des Glaſes (nach dem ſpäter zu erklärenden Mariotte'ſchen Geſetze) auf die Größe des Druckes geſchloſſen, unter dem dieſe Luft, mithin auch die Flüſſigkeit in dem vorhin beſchriebenen Gefäße ſteht. (Mitſcherlich's Lehrbuch der Chemie, zweite Auflage, S. 280.) Folgende Tabelle gibt die Reſultate ſolcher Verſuche in Milliontheilchen des urſprünglichen Volums für den Druck von einer Atmoſphäre (ungefähr $12^1/_2$ Pfd. für 1 Q. Zoll Fläche) an:

Queckſilber bei 0° C . =	5.03	Waſſer mit Ammoniak	
Luftleeres Waſſer bei 0°C =	51.3	geſättiget . . . . . =	38
Waſſer, Luft haltend		Salpeteräther bei 0° C =	71.5
bei 0° C =	49.5	Salzäther bei 11°. 2 C =	85.9
bei 10° C =	44.7	Schwefelſ. conc. bei 0° C =	32.
bei 16° C =	42.7	Eſſigſäure bei 0° C . =	42.2
bei 3.75° C =	46.1	Salpeterſäure von 1.403	
Alkohol bei 11°. 6 C . =	96.2	ſp. G. bei 0° C . . =	32.2
Schwefeläther bei 0° C =	133.122	Terpentinöhl bei 0° C =	73
bei 11° C =	150.141	Eſſigäther bei 12° C . =	97.3

Alkohol, Schwefeläther, Eſſigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zuſammengedrückt, ſondern ihre Compreſſibilität nimmt ab, wenn die Flüſſigkeit ſchon ſtark comprimirt iſt. (Zeitſch. 5. 236.) — Tropfbare Flüſſigkeiten verhalten ſich bei der Compreſſion etwas anders als feſte Körper. Jene erleiden nach allen Richtungen dieſelbe Compreſſion, ſo daß die Theile, welche vor dem Zuſammendrücken in der Oberfläche einer Kugel lagen, auch nach der Compreſſion in einer ſolchen, aber kleineren Oberfläche liegen, während feſte Körper durch eine drückende Kraft nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Compreſſion erleiden, ja oft nach einer Richtung einer Compreſſion, nach einer anderen zugleich einer Dilatation unterliegen. (Colladon und Sturm in Pogg. Ann. 12. 39. Oerſted ebend. 9. 603; 12. 158 und 513; 31. 361.)

145. Die leichte Verſchiebbarkeit der Theile flüſſiger Körper iſt zwar eine weſentliche Eigenſchaft derſelben, aber die vorhandenen tropfbaren Flüſſigkeiten beſitzen ſie nicht in vollkommenem Grade. Am meiſten nähert ſich dieſem mathematiſchen Zuſtande tropfbare Schwefelwaſſerſtoffſäure, dann tropfbarer Kohlenwaſſerſtoff; mehr entfernt davon ſteht das Waſſer und noch mehr die fetten Oehle. Manche Körper weichen von dem Zuſtande der vollkommenen Flüſſigkeit gar weit ab, und erſcheinen in einer Art Mittelzuſtand zwiſchen Feſtigkeit und Flüſſigkeit, wie z. B. Honig, viele Oehle. Dieſer Zuſtand hängt von einer ſolchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molekularkraft nach verſchiedenen Richtungen ſchon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß ſolche Körper Gemenge eines flüſſigen und eines fein zertheilten, feſten Stoffes ſind, wie dieſes bei erkaltendem Oehle der Fall iſt, bei welchem das Stearin eher feſt wird als das Elain.

Man kann daher allerdings auch Grade der Flüſſigkeit annehmen und der Meſſung unterwerfen, indem man derſelben ein Phänomen, welches von der größeren oder geringeren Verſchiebbarkeit der Flüſſigkeitstheilchen abhängt, z. B. die Menge der Flüſſigkeit, welche binnen einer feſtgeſetzten Zeit aus einem enghalſigen Gefäße abfließt, zum Grunde legt.

146. In tropfbaren Flüſſigkeiten hat von den zwei, den kleinſten Theilchen eigenen Kräften (38), die abſtoßende das Uebergewicht. Dieſes beweiſet der Umſtand, daß die an der Oberfläche einer Flüſſigkeit liegenden Theilchen alſogleich in ausdehnſamen Zuſtand übergehen, wenn nicht von Außen ein Druck auf ſie wirkt. In den gewöhnlichen Fällen bewirkt die atmoſphäriſche Luft dieſen Druck, im luftleeren Raume vertreten ſie aber bald die ſich bildenden Dünſte, im Inneren einer ſolchen Maſſe wird dem Beſtreben, ausdehnſam zu werden, durch das Gewicht der darüber befindlichen Theile Einhalt gethan. Man darf aber hiebei nicht überſehen, daß dieſe abſtoßende Kraft bloß die Reſultirende zweier entgegengeſetzten Kräfte iſt, und daß deßungeachtet auch eine anziehende Kraft vorhanden ſey. Weil, der Erfahrung gemäß, zuſammengedrückte Flüſſigkeiten ein ſo großes Beſtreben zeigen, ſich wieder zum vorigen Volum auszudehnen, ſo muß die abſtoßende Kraft bei einer Annäherung ihrer Angriffspunkte ſtärker wachſen und bei

Bayerische Staatsbibliothek München

wachſender Entfernung derſelben ſchneller abnehmen als die anziehende, und daher ein Theilchen auf die nächſte Umgebung überwiegend abſtoßend, auf die fernere hingegen überwiegend anziehend wirken.

147. Tropfbare Körper werden, außer von den ihnen eigenen Molekularkräften, auch noch von ſolchen afficirt, welche manche ihnen ſehr nahe ſtehende oder ſie berührende, feſte und tropfbare Körper auf ſie ausüben. Das Daſeyn einer Anziehung, welche feſte Körper auf flüſſige äußern, wird durch unzählige Erſcheinungen außer Zweifel geſetzt. Läßt man z. B. einen Waſſertropfen auf eine reine Glasplatte fallen, ſo ſieht man ihn aus einander fließen und die ihm urſprünglich eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er ſich aber, wenn er nicht zu groß iſt, völlig in ſeiner ſphäriſchen Geſtalt. Was der Waſſertropfen auf einer reinen Glasplatte, das zeigt auch ein Queckſilbertropfen auf einer Zinntafel, während er ſich auf Glas ſo verhält, wie Waſſer auf einer Fettſchichte. Das Naßwerden eines Körpers in verſchiedenen Flüſſigkeiten bezeuget eben ſo, wie der vorige Fall die Anziehung zwiſchen ihm und den Flüſſigkeiten. Bringt man eine Scheibe mit der Oberfläche einer ruhigen Flüſſigkeit, die in einem weiten Gefäße enthalten iſt, in Berührung, und verſucht ſie dann wieder wegzunehmen; ſo erfährt man einen Widerſtand, der bei derſelben Flüſſigkeit mit dem Durchmeſſer der Scheibe und mit dem Sinken der Temperatur wächſt. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich eine Säule der Flüſſigkeit bis zu einer beſtimmten Grenze in die Höhe; wird dieſe überſchritten, ſo reißt ſich die Flüſſigkeit los. Um ſie an dieſer Grenze im Gleichgewichte zu erhalten, braucht man eine Kraft, die dem Gewichte der Scheibe und der gehobenen Säule gleich kommt. Dieſe Kraft äußert ſich nur auf eine ſehr geringe Entfernung; denn die Größe des Gewichtes, wodurch eine ſolche Scheibe von der Flüſſigkeit losgeriſſen wird, hängt gar nicht von der Dicke, und wenn die Scheibe von der Flüſſigkeit benetzt wird, gar nicht von dem Materiale der Scheibe ab. (Vergl. Frankenheim in Pogg. Ann. 37. 409.) — Es herrſcht auch zwiſchen verſchiedenen Flüſſigkeiten eine Adhäſion, deren Stärke von der Natur derſelben abhängt. Ein Tropfen fettes Oehl breitet ſich auf einer Waſſerfläche ſchnell aus, wird aber durch flüchtiges Oehl verdrängt und dieſes wieder durch milchartige Pflanzenſäfte oder durch Weingeiſt überwältiget, zum Beweiſe, daß unter dieſen Körpern fettes Oehl die kleinſte, Weingeiſt die größte Adhäſion zum Waſſer habe. (Carradori in Voigt's Magazin B. 2. S. 1.) Vielleicht gehören auch Brown's Molekularbewegungen (Pogg. Ann. 14. 294) hieher.

Man benutzt die Adhäſion zwiſchen feſten und tropfbaren Körpern zu den mannigfaltigſten Zwecken und bei vielen techniſchen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anſtreichen, Mahlen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaſchine zum Waſſerheben beruht darauf. Dieſe beſteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet ſich in dem Waſſerbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Waſſer gehoben werden ſoll. Letztere läßt ſich mittelſt einer Kurbel um ihre Axe

drehen und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit ſich fort. Wird ſchnell genug gedreht, ſo erſcheint der ganze aufſteigende Arm des Strickes mit Waſſer umgeben, welches beim Wenden desſelben in einem eigenen Behälter geſammelt werden kann. Aus der hier beſprochenen Anziehung erklärt ſich auch das Herabfließen mancher Flüſſigkeiten an der äußeren Wand des Gefäßes, worin ſie enthalten ſind, wenn man ſie langſam ausgießen will, und der Nutzen der Ausgußſchnäbel und der auswärts gebogenen Ränder ſolcher Gefäße. Auf der Adhäſion beruht auch die Bewegung des ſchottiſchen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinſe mit der convexen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Iſt dieſe Platte trocken, ſo bewegt er ſich auf derſelben, ohne irgend ein auffallendes Phänomen, abwärts, wird aber an die Stelle, wo er ſich befindet, ein Waſſertropfen gebracht, der ſich ausbreitet und die convexe Flache ſo umſchließt, daß er daſelbſt einen Meniskus bildet; ſo beginnt der Körper ſich in drehender Bewegung abwärts zu bewegen, und kann durch Neigen der Glastafel nach dieſer oder jener Seite beliebig herumgeführt werden.

148. Alles bisher Geſagte zuſammengefaßt lehrt, daß auf tropfbare Flüſſigkeiten dreierlei mechaniſche Kräfte wirken: 1) die Schwere; 2) die Molekularkraft der flüſſigen Theile; 3) die Anziehung feſter oder flüſſiger fremdartiger Körper. Zu dieſen Kräften muß noch, damit tropfbare Flüſſigkeiten als ſolche beſtehen können, ein äußerer Druck kommen. Die genannten drei Kräfte und dieſer Druck beſtimmen die beſonderen Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten. In vielen Fällen hat die Schwere über die anderen Kräfte ein ſo entſchiedenes Uebergewicht, daß gegen ſie die Wirkungen aller anderen Kräfte verſchwinden, und in ſolchen Fällen kann man eine Flüſſigkeit als Aggregat ſchwerer, unzuſammendrückbaren, nicht adhärirenden, abſolut leicht verſchiebbaren Theilchen behandeln; doch geht dieſes nicht immer an, ſondern man muß auch oft die anderen Kräfte gehörig würdigen. Wir wollen den erſten Fall von dem viel ſchwierigeren letzten trennen, und ihn vorausſchicken.

B. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, unzuſammendrückbaren, nicht adhärirenden Flüſſigkeiten.

149. Befindet ſich eine ſchwere Flüſſigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, ſo muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Maſſe bewirken, das nur durch den Widerſtand des Gefäßes aufgehoben wird. Deßhalb nehmen tropfbare Flüſſigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, worin ſie ſich befinden. Iſt dieſes Gefäß offen, ſo muß ſich die Geſtalt der Oberfläche der Flüſſigkeit einem Kugelſegmente in dem Maße nähern, in welchem ſich die Geſtalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in dieſem Falle ſteht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche ſenkrecht (142). In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten und daher annehmen, die Oberfläche der Flüſſigkeit liege in einer horizontalen Ebene.

150. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüſſigkeit einen Druck nach abwärts und daher (wegen 140) nach allen Seiten. Um

dieſen Druck für ein Theilchen im Innern der Maſſe meſſen zu können, denke man ſich in ihr ein ſolches, unendlich kleines Theilchen a (Fig. 44), und man ſieht leicht, daß es durch das Gewicht der Säule a b abwärts, mithin auch eben ſo ſtark ſeitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieſer Druck von der Tiefe des Theilchens a unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit der Oberfläche parallelen Fläche (mithin bei kleinen Maſſen in derſelben horizontalen Ebene) liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendruck der übrigen her.

151. Iſt Fig. 45 ein bis AB mit einer Flüſſigkeit gefülltes Gefäß und AB horizontal; ſo kann man im Inneren eine feſte Wand CED entſtehen laſſen, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (141). Es werden daher auch im Gefäße ACEDB die Oberflächen der Flüſſigkeit AC und BD in derſelben Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beſchaffen ſeyn. Gefäße, bei denen der Uebergang von einem in das andere nicht geſperrt iſt, heißen Communicationsgefäße, und eine ruhige Flüſſigkeit ſteht in ihnen immer gleich hoch. Hierauf beruht das Aufſteigen des Waſſers ſowohl in den gewöhnlichen als in den ſogenannten Arteſiſchen Brunnen, des Grundwaſſers in Flüſſen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtloſen Nachtlämpchen (Pogg. Ann. 10. 624.) u. ſ. w.

152. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 46, mit geradlinigem, horizontalen Boden CD, und verticalen Wänden AC und BD, von einer Flüſſigkeit erfüllt iſt, ſo drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der geſammte Bodendruck P gleich ſeyn dem abſoluten Gewichte der Flüſſigkeit, mithin dem Producte aus der Baſis B des Gefäßes, in die Höhe A der Flüſſigkeit und in ihr ſpecifiſches Gewicht S, oder es iſt $P = ABS$. Dasſelbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Geſtalt, und der Bodendruck iſt von der Menge der Flüſſigkeit ganz unabhängig und richtet ſich nur nach der Baſis, der Höhe und dem ſpecifiſchen Gewichte derſelben. Denn es ſey (Fig. 47) das Gefäß ABCD mit einer Flüſſigkeit bis AB gefüllt, und man denke es ſich als ein Stück eines Communicationsgefäßes ABEF. In dieſem wird offenbar Gleichgewicht herrſchen, ſobald die Flüſſigkeit bis AB und EF reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß ABCD, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden verſehene GCDH den zweiten Arm ausmachen. In beiden Fällen wird CD von oben nach unten und von unten nach oben mit gleichen Kräften gedrückt. Aber der Druck von unten nach oben bleibt, ſo lange an dem Schenkel CDEF nichts geändert wird, ſtets derſelbe; es muß daher dasſelbe auch von dem Drucke gelten, den EF von oben nach unten erleidet. Es iſt alſo der Druck auf CD in beiden Gefäßen gleich groß. Enthielte ein Gefäß Schichten von ungleichartigen Flüſſigkeiten, ſo dürfte man nur den Druck jeder einzelnen berechnen und die Reſultate ſummiren, um den Geſammtdruck auf den Boden zu erhalten. Ein beſtimmter Druck

einer ruhenden Flüſſigkeit auf die Baſis = 1 fordert demnach immer eine beſtimmte Höhe der drückenden Säule. Man nennt ſie die hydroſtatiſche Druckhöhe. Auf dem Bodendrucke beruhen der anatomiſche Heber und ſeine Benützung als Wage, die Waſſerſäulenmaſchine, Real's Preſſe ꝛc.

Der anatomiſche Heber (Fig. 48) iſt ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und ſehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blaſe verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme jenes Waſſers beſtimmt iſt, welches die Blaſe über dem weiteren Arm ſpannen, oder ein darauf liegendes Gewicht haben ſoll.

Die Waſſerſäulenmaſchine unterſcheidet ſich vom anatomiſchen Heber dadurch, daß der weitere Arm durch einen wohlanliegenden Kolben geſchloſſen iſt, der durch den Druck des Waſſers aufwärts bewegt wird, nach Abfluß desſelben aber (welches durch einen eigenen Hahn, oder einen Hilfskolben bewerkſtelliget wird), durch ſein eigenes Gewicht ſinkt, wenn nicht die Einrichtung ſo getroffen iſt, daß ihn auch nach dieſer Richtung eine Waſſerſäule treibt. (Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 257.)

Real's Preſſe (Fig. 49) iſt ein weiter Cylinder mit zwei ſiebartig durchlöcherten Platten a, b, der oben mit einer hohen, engen Anſatzröhre c verſehen iſt, um das Waſſer aufzunehmen, welches beſtimmt iſt, auf die im Cylinder befindliche, auszupreſſende Subſtanz einen Druck auszuüben.

153. Mittelſt der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes iſt man im Stande zu beweiſen, daß ſich die Höhe der Säulen ungleichartiger, in Communicationsgefäßen im Gleichgewichte ſtehender Flüſſigkeiten verkehrt, wie ihre ſpecifiſchen Gewichte, verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 50 z. B. Queckſilber, ſo daß es bis A und B reicht; ſo wird es im Gleichgewichte ſtehen, wenn A und B in einer horizontalen Ebene liegen (149). Gießt man nun auf A irgend eine andere, leichtere Flüſſigkeit, z. B. Weingeiſt, bis C, ſo wird deßhalb das Queckſilber von A bis D zurückweichen, hingegen im anderen Schenkel bis E ſteigen. Man denke ſich D und F in derſelben Horizontalebene, bezeichne die Höhe der Säule DC mit A, die der Säule EF mit a, das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers mit S, das des Weingeiſtes mit s, den Röhrenquerſchnitt bei D mit b; ſo iſt der Druck auf dieſe Ebene von Seite des Queckſilbers gleich abS, von Seite des Weingeiſtes gleich Abs, und man hat

$$abS = Abs, \text{ mithin } a : A = s : S.$$

154. Daß jeder Punkt der Seitenwand eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes M (Fig. 51) einen Druck erleidet, erſieht man leicht aus 140. Die Größe dieſes Druckes richtet ſich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theils unter der Oberfläche der Flüſſigkeit. Deßhalb wird der Druck auf E durch die Säule GE, jener auf F durch die Säule HF gemeſſen. Ein Stück der Seitenwand, deſſen höchſter Punkt in der Tiefe EG und deſſen tiefſter Punkt in der Tiefe FH unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ſteht, wird alſo durch eine Säule gedrückt, deren Baſis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe

größer als GE und kleiner als HF iſt, überhaupt aber mittelſt Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann. — Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorſchriften für Anlegung der Dämme, Schleuſen ꝛc. ab.

155. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Beſtreben, ſich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen; es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberſtehender Theil einer hinlänglich feſten Wand ein gleiches Beſtreben nach entgegengeſetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Oeffnung an, ſo findet daſelbſt kein Druck mehr Statt, und die gegenüberſtehende Seitenwand muß ſich fortbewegen. Dieſes zeigt die Erfahrung am Segner'ſchen Rade.

Segner's Rad beſteht aus einem verticalen, cylindriſchen Gefäße (Fig. 52), welches um eine verticale Axe beweglich iſt, und unten zwei oder mehrere rechtwinkelige, ſeitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat. Das durch dieſelben aus dem Cylinder fließende Waſſer ſetzt ihn nach einem der Richtung des Ausfluſſes entgegengeſetzten Sinne in drehende Bewegung.

156. Befindet ſich ein fremdartiger Körper in einer Flüſſigkeit, ſo erleidet er denſelben Druck nach allen Seiten, welchen die Flüſſigkeit an ſeinem Platze erleiden würde. Der Druck ſeitwärts wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht der vom eingetauchten Körper verdrängten Flüſſigkeit. Man denke ſich im Gefäße M (Fig. 51), welches bis AG voll iſt, einen Theil N der darin befindlichen Flüſſigkeit von beliebigem Volum und beliebiger Geſtalt. Auf der Begrenzung desſelben wähle man irgend ein unendlich kleines Flächenſtückchen a, und betrachte dieſes als Baſis eines verticalen Cylinders, der aufwärts und abwärts fortgeſetzt, die Oberfläche der Flüſſigkeit in c, die Begrenzung des Flüſſigkeitsſtückes N aber noch einmal in b treffe. Offenbar erleidet a von der N umgebenden Flüſſigkeit einen abwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte der Säule ac und b einen aufwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte bc entſpricht. Letzterer übertrifft erſteren um das Gewicht der Säule ab, und man kann ſich vorſtellen, daß dieſe durch den aufwärts wirkenden Unterſchied beider Druckkräfte getragen werde. Ein Gleiches läßt ſich von jeder andern in N vorhandenen verticalen Flüſſigkeitsſäule a′b′ ſagen; es wird demnach die Flüſſigkeitsmaſſe N durch den aufwärts wirkenden Unterſchied der Druckkräfte im Gleichgewichte erhalten, welche ſie von der umgebenden Flüſſigkeit nach aufwärts und abwärts erfährt. Das Gewicht der Flüſſigkeit in N iſt im Schwerpunkte derſelben vereinigt; durch dieſen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt ſich zeigen, daß aus der Action der umgebenden Flüſſigkeit auf N keine horizontal wirkende Kraft hervorgehe, indem jeder auf ein Theilchen der Begrenzung von N Statt findende horizontale Druck durch den auf ein gegenüberliegendes Theilchen ausgeübten aufgehoben wird. Dasſelbe, was hier mit der Flüſſigkeit in

N geſchieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in dieſelbe getaucht iſt und das Volum N hat, gelten. Man kann deßhalb von jedem in eine Flüſſigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf ſeine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Reſultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunkt der aus ihrem Raume verdrängten Flüſſigkeit geht, und gleich iſt dem Gewichte dieſer Flüſſigkeit. — Eine natürliche Folge dieſes Satzes iſt, daß jeder ſchwere Körper in einer Flüſſigkeit ſo viel von ſeinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüſſigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüſſigkeit unter demſelben Volum p; ſo iſt ſein Gewicht in der Flüſſigkeit $P - p$. So lange $P > p$, ſinkt er in der Flüſſigkeit zu Boden; wenn $P = p$, verhält er ſich in ihr, wie eine ſchwerloſe Maſſe; iſt aber gar $P < p$, ſo ſteigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht iſt, unter deſſen Volum die Flüſſigkeit ſo viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es iſt klar, daß P und p als Gewichte unter demſelben Volum in demſelben Verhältniſſe ſtehen, wie die ſpecifiſchen Gewichte des eingetauchten Körpers und der Flüſſigkeit.

157. Damit ein Körper in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſtehe, d. h. ſchwimme, wird erfordert: 1) daß ſein Gewicht dem der verdrängten Flüſſigkeit gleich ſey, 2) daß der Schwerpunkt der Flüſſigkeit und der Schwerpunkt des eingetauchten Körpers in derſelben verticalen Linie liegen. Vermöge der erſten Bedingung kann er nicht ſteigen oder ſinken, vermöge der zweiten kann er ſich nicht drehen. Man kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine Lage gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt iſt; in dieſe Lage wird er ſich daher von ſelbſt verſetzen. In Betreff der erſten Bedingung kann man auch mit Gewißheit behaupten, daß ſie nur bei Körpern Statt findet, deren ſpecifiſches Gewicht nicht größer als jenes der Flüſſigkeit iſt. Alle Körper, deren Schwerpunkt unter dem Schwerpunkte der verdrängten Flüſſigkeit liegt, ſchwimmen, in ſofern die ſo eben ausgeſprochenen Bedingungen erfüllt ſind, mit Stabilität; liegt aber der Schwerpunkt eines Körpers oberhalb jenem der verdrängten Flüſſigkeit, ſo kann das Gleichgewicht auch labil ſeyn. Ein ſchwimmender Körper wird eigentlich durch zwei parallele Kräfte im Gleichgewichte erhalten, wovon eine aufwärts wirkt, und im Schwerpunkte der verdrängten Flüſſigkeit ihren Angriffspunkt hat, während die andere abwärts zieht, und vom Schwerpunkte des eingetauchten Körpers ausgeht.

158. Zwei oder mehrere Flüſſigkeiten können ſich in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte ſtehen, wie immer ihre ſpecifiſchen Gewichte beſchaffen ſeyn mögen; Stabilität haben ſie aber nur, wenn ſie ſich nach der Ordnung ihrer ſpecifiſchen Gewichte über einander befinden, und die ſpecifiſch ſchwerſte den unterſten Platz einnimmt. Darum kann man in einer engen Glasröhre Waſſer, ja ſogar Queckſilber über Luft erhalten, ſo lange keine Erſchütterung eintritt; darum erhebt ſich Wein im Waſſer durch den geringſten Stoß;

in der ſogenannten Elementarwelt reihen ſich die Maſſen nach ihrem ſpecifiſchen Gewichte über einander. Hierauf beruht die Waſſerwage. Daher kommt es auch, daß in einer Waſſermaſſe bloß durch eine verſchiedene Temperatur verſchiedener Stellen eine Bewegung entſteht, die man mit Vortheil zum Erwärmen von Treibhäuſern ꝛc. anwendet. (Zeitſch. 7. 224; 8. 456.)

Die Waſſerwage beſteht aus einer cylindriſchen Röhre (Fig. 53), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllt und luftdicht verſchloſſen iſt. Gewöhnlich wird ſie durch Stützen getragen, die eine gleiche Länge haben, wohl auch mittelſt Stellſchrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Baſis horizontal, ſo hat die Mitte der Röhre den höchſten Stand, und die Mitte der Luftblaſe fällt mit ihr zuſammen; wird die Baſis aber aus der horizontalen Lage verrückt, ſo geht auch die Luftblaſe näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Waſſerwage, um eine Ebene horizontal zu ſtellen, oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal ſey oder nicht.

159. Man begreift aus dem Vorhergehenden leicht, daß ſich die erſte von den in 157 erwähnten Bedingungen auch für Körper erreichen läßt, die in ihrem natürlichen Zuſtande ſpecifiſch ſchwerer ſind als die Flüſſigkeit, in der ſie ſchwimmen ſollen, wenn man ſie ſo ſehr verkleinert, daß ſie den Widerſtand der Flüſſigkeit nicht überwinden können, oder wenn man ſie aushöhlt oder mit anderen Körpern verbindet, die ſpecifiſch leichter ſind als jene Flüſſigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Waſſer, die Einrichtung unſerer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fäſſer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder verſunkene Waaren aus dem Waſſer zu heben, das Schwimmen der Fiſche, der karteſianiſche Taucher u. ſ. w.

Iſt z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmeſſer R, deſſen ſpecifiſches Gewicht S größer iſt als das des Waſſers σ; ſo kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil ſeiner Maſſe iſt, der von Innen weggenommen werden muß, damit der Körper im Waſſer ſchwimme. Denn das Gewicht dieſes Körpers iſt $\frac{4}{3}\pi R^3 S$, jenes des Waſſers unter demſelben Volum $\frac{4}{3}\pi R^3 \sigma$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmeſſer der wegzunehmenden Maſſe r, mithin $\frac{4}{3}\pi r^3 S$ das Gewicht derſelben, ſo wird obige Kugel ſchwimmen, wenn man hat:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 S - \frac{4}{3}\pi r^3 S = \frac{4}{3}\pi R^3 \sigma \text{ oder } r = R \sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)}.$$

Soll ein Körper ſtatt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem ſpecifiſch leichteren zum Schwimmen gebracht, und das nöthige Gewicht des letzteren beſtimmt werden; ſo nenne man ſein abſolutes Gewicht P, ſein ſpecifiſches S; eben dieſe Bedeutung mögen p und s für den ſpecifiſch leichteren haben, während σ das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bedeutet. Da der Körper ſchwimmen wird, wenn ſein Gewicht ſammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Waſſers gleich iſt; ſo hat man:

$$\left(\frac{P}{S} + \frac{p}{s}\right)\sigma = P + p, \text{ mithin } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma - s)}.$$

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künſtliche

des Menſchen verwechſeln. Dieſes iſt ein beſtändiges Wehren gegen das Unterſinken mittelſt der Hände und Füße. Der Schwimmer ſtemmt ſich mit den flachen Händen und den Fußſohlen gegen das Waſſer, indem er erſtere ſchnell abwärts bewegt und letztere ſchnell ausſtreckt, hierauf beide zurückzieht, und mit der kleineren Fläche das Waſſer durchſchneidet. Weil der Menſch beim Ausathmen die Bruſthöhle verenget, nimmt er einen kleineren Raum ein, und ſinkt deßhalb leichter; darum iſt es für ſolche, die ins Waſſer fallen, räthlich, den Athem an ſich zu halten. Ueberdieß ſollen ſie ſich hüthen, die Hände aus dem Waſſer zu ſtrecken, weil ſie dabei Gefahr laufen, daß der Kopf untertauche. (Die Kunſt zu ſchwimmen von Oronzio di Bernardi. Weimar 1799.)

160. Ein feſter Körper kann ſich in eine Flüſſigkeit, deren ſpec. Gewicht größer iſt als ſein eigenes, nur zum Theil eintauchen. Iſt V das Volum eines ſolchen Körpers, P ſein abſolutes, S ſein ſpecifiſches Gewicht, ferner s das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit und $S < s$, v das Volum des eingetauchten Theils des Körpers; ſo hat man (nach 33) $P = VS$, $P = vs$, mithin $VS = vs$ oder $v : V = S : s$, d. h. das Volum des eingetauchten Theils verhält ſich zum Volum des ganzen Kröpers, wie das ſpecifiſche Gewicht dieſes Körpers zu jenem der Flüſſigkeit. Wird derſelbe Körper in zwei verſchiedene Flüſſigkeiten getaucht, deren ſpecifiſche Gewichte s und s' ſind; ſo findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$ und $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$, und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verſchiedene Flüſſigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten ſich verkehrt, wie die ſpecifiſchen Gewichte dieſer Flüſſigkeiten. Sollen zwei Körper, deren abſolute Gewichte P und P' ſind, in zwei Flüſſigkeiten vom ſpecifiſchen Gewichte s und s' ſich um den Theil v eintauchen; ſo hat man $P = vs$, $P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die abſoluten Gewichte verhalten ſich wie die ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeiten. — Es iſt aus 33 klar, daß man ſtatt des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte jenes der Dichten ſetzen kann, und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derſelben Relation zu den Dichten, wie zu den ſpecifiſchen Gewichten ſtehen.

C. Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes feſter und tropfbarer Körper.

161. Die Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes eines Körpers ſcheint dadurch am leichteſten geſchehen zu können, daß man ſein Volum und ſein abſolutes Gewicht ausmittelt, und aus beiden das ſpecifiſche mittelſt der Formel $S = \frac{P}{V}$ (33) berechnet. Allein der Ausführbarkeit dieſes Verfahrens ſteht entgegen, daß ſich das Volum eines Körpers, wenigſtens eines feſten, deſſen Geſtalt man nicht nach Belieben ändern kann, nicht genau genug beſtimmen läßt. Darum wendet man es nur bei Flüſſigkeiten manchmal an, und füllt ſie zu dieſem Ende in ein Gefäß von bekannter Capacität ein. Für andere Körper ſucht man nur die Dichte, und berechnet das ſpecifiſche Ge-

wicht aus dieſer und dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers, indem man dieſe beiden Größen mit einander multiplicirt. Denn man hat $S : s = D : d$, mithin $S = \frac{D}{d} . s$, wo S und s das ſpecifiſche Gewicht, D und d die Dichte zweier Körper bezeichnen. Iſt s das ſpecifiſche Gewicht und d die Dichte des Waſſers (= 1), ſo iſt $S = Ds$.

162. Um das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers zu finden, kann man auf zweifache Weiſe verfahren: Man kann einen feſten, im Waſſer unveränderlichen Körper, wie z. B. einen metallenen Cylinder, deſſen Volum v und deſſen Gewicht in der Luft genau beſtimmt iſt, in reines Waſſer von beſtimmter Temperatur einſenken, daſelbſt abwägen, und den Gewichtsverluſt p beſtimmen, den er darin erleidet. Aus dieſen Größen ergibt ſich das ſpecifiſche Gewicht s nach der Formel $s = \frac{p}{v}$. Statt ſo zu verfahren kann man auch ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Waſſer füllen, und beſtimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Iſt dieſes Gewicht wieder gleich p, ſo hat man abermals $s = \frac{p}{v}$.

Auf dem erſteren Wege hat Stampfer (Jahrb. des k. k. polytech. Inſtituts in Wien, Bd. 16) das Gewicht eines Wiener Kubikzolls reinen Waſſers bei 3° R gleich 1.044023 Lth. = 250.56 Gr. gefunden. Demnach wiegt ein K. Fuß 433132.18 Gr. oder 56 Pfd. 12 L. 17.218 Gr., ein Eimer (1.792 K. Fuß) 101.02 Pfd.; eine W. Maß 2 Pfd. 16 Loth, 197 Gr.

163. Das ſpecifiſche Gewicht anderer Flüſſigkeiten kann man wie jenes des Waſſers finden. Man kommt aber doch leichter zum Ziele, wenn man zuerſt ihre Dichte ſucht, und hieraus (nach 161) ihr ſpecifiſches Gewicht berechnet. Zur Kenntniß der Dichte führen mehrere Verfahrungsarten: Man wäge einen feſten Körper, deſſen Gewichtsverluſt p in reinem Waſſer man kennt, in der zu unterſuchenden Flüſſigkeit ſorgfältig ab, und beſtimme den darin erlittenen Gewichtsverluſt q. Heißt nun D die geſuchte Dichte, ſo hat man $D : 1 = q : p$ und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der eingetauchte Körper weder im Waſſer, noch in der zu prüfenden Flüſſigkeit auflöslich ſeyn darf, und daß er ſich in beide ganz einſenken muß. In den meiſten Fällen reicht man mit einem ſoliden Glastropfen aus, nur bei der Unterſuchung der Flußſäure (die Glas angreift), muß man zu einer ſilbernen oder bleiernen Maſſe ſeine Zuflucht nehmen. Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende wählen: Man bringe die zu unterſuchende Flüſſigkeit in einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Waſſer in den anderen, trenne, wenn ſie ſich etwa mit einander zu miſchen geneigt ſind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide indifferente Flüſſigkeit, und meſſe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleich-

gewicht hergeſtellt iſt. Dieſe verhalten ſich verkehrt wie die Dichten der Flüſſigkeiten (153).

164. Um die Dichte eines feſten Körpers zu beſtimmen, finde man zuerſt ſein abſolutes Gewicht P im leeren Raume, und hierauf ſeinen Gewichtsverluſt Q in einer Flüſſigkeit von bekannter Dichte, die ihn nicht angreift. Iſt wieder D die Dichte des zu unterſuchenden Körpers, d jene der Flüſſigkeit, ſo hat man (161) $D:d=P:Q$ oder $D=\frac{P}{Q}d$. Für $d=1$ wird $D=\frac{P}{Q}$. Das geſuchte ſpecifiſche Gewicht erhält man durch Multiplication der Größe D mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers.

165. Um einen Körper der angezeigten Methode gemäß in einer Flüſſigkeit abzuwägen, bedient man ſich einer eigens dazu eingerichteten Wage, welche hydroſtatiſche Wäge heißt, und ſich von einer ſehr empfindlichen und genauen Schalwage nur dadurch unterſcheidet, daß eine ihrer Schalen an kürzeren Schnüren hängt und unten einen Haken hat, woran der feſte Körper mittelſt eines feinen Drahtes gehängt wird. Daß man auf den Gewichtsverluſt des Drahtes, auf die Temperatur des zu unterſuchenden und des Hilfskörpers Rückſicht nehmen, und überhaupt die in 108 empfohlene Abwägungsmethode anwenden müſſe, wenn die Reſultate genau ſeyn ſollen, verſteht ſich von ſelbſt. Gepulverte Körper wägt man auf einer gläſernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverluſt in einer gegebenen Flüſſigkeit ſchon vorläufig bekannt ſind. Sollte der Körper ſpecifiſch leichter ſeyn als die Flüſſigkeit, in der man ihn abwägen will; ſo ſpannt man ihn in eine Zange ein, und wägt ihn ſammt derſelben in der Flüſſigkeit, ſchlägt aber nach der Hand vom geſammten Gewichtsverluſte jenen der Zange ab.

166. Die Dichte der Körper, beſonders der tropfbaren, welche auf dem bekannten Wege zur Kenntniß ihres ſpecifiſchen Gewichtes führt, beſtimmt man oft mit großem Vortheile mittelſt ſogenannter Aräometer (Senkwagen, Dichtemeſſer, Pyknometer, Gravimeter). Es gibt zwei Gattungen derſelben, nämlich Aräometer mit Scalen, und Aräometer mit Gewichten.

167. Aräometer mit Scalen beruhen auf 160. Man denke ſich ein hohles, am beſten gläſernes Gefäß, etwa wie Fig. 54, welches am unteren Theile A ſo belaſtet iſt, daß es im Waſſer mit Stabilität vertical ſteht, und es iſt einleuchtend, daß eine Einrichtung getroffen werden kann, wodurch man aus der Tiefe, bis zu welcher es in eine Flüſſigkeit einſinkt, die Dichte derſelben erkennt. Man kann nämlich die Aenderung x ausmitteln, welche an dem Gewichte P des Aräometers vorgenommen, dasſelbe im reinen Waſſer ſo weit einſinken macht, als es ſich ohne dieſe Gewichtsänderung in einer Flüſſigkeit von der Dichte D eintauchen würde. Zu dieſem Behufe muß, da das Gewicht des Waſſers $P+x$ iſt, unter einem Volum, unter welchem die Flüſſigkeit von der Dichte D das Gewicht P hat, die Proportion

$P + x : P = 1 : D$ Statt finden, woraus $P + x = \frac{P}{D}$, mithin

$$x = P\left(\frac{1}{D} - 1\right)$$

folgt. Hier fällt x poſitiv aus, wenn $D < 1$, und negativ, wenn $D > 1$ iſt; es bedeutet alſo x im erſten Falle eine Gewichtsvermehrung, im zweiten eine Gewichtsverminderung des Aräometers. Hiernach läßt ſich leicht eine Methode angeben, eine Scale zu verfertigen, deren Theilſtriche die Dichte der Flüſſigkeit anzeigen, worin die Einſenkung bis zu einem derſelben geſchieht. Wo man eine große Schärfe des Reſultates wünſcht, da ſind dieſe Inſtrumente freilich nicht zu empfehlen, wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden iſt, da ſind ſie äußerſt bequem. Sie dienen aber nebſtdem noch zu einem anderen Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemiſchten Flüſſigkeiten, z. B. des Weingeiſtes, der Säuren ꝛc. ändert ſich mit der Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles ſo, daß man, wenn einmal für ein Miſchungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden iſt, in Zukunft umgekehrt von dieſer Dichte auf das Miſchungsverhältniß ſchließen, und die Aräometer ſo einrichten kann, daß die Scale ſtatt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles anzeigt. Man heißt ſolche Aräometer **Procentenaräometer** oder nach Verſchiedenheit der Flüſſigkeit, für welche ſie beſtimmt ſind, Weingeiſt-, Salpeterſäurearäometer u. ſ. w.

Zu dieſer Klaſſe gehören auch jene Aräometer, welche weder die Dichte noch ein beſtimmtes Miſchungsverhältniß unmittelbar angeben, ſondern deren Scalen in, meiſtens willkürliche, Grade eingetheilt ſind. Unter allen Inſtrumenten dieſer Art haben die von **Beaumé** den meiſten Zuſpruch erhalten; es iſt daher nothwendig, anzugeben, wie **Beaumé** ſeine Scale beſtimmte. Dieſes geſchah auf zweifache Art, je nachdem er das Inſtrument für Flüſſigkeiten anwenden wollte, die ſpecifiſch leichter oder ſchwerer ſind, als Waſſer. Um die Scale für erſtere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 54, deſſen Spindel a b durchaus gleich dick war, in eine Auflöſung von 10 Th. Kochſalz in 90 Th. Waſſer, und fand ſo den unterſten Punkt der Scale, hierauf in deſtillirtes Waſſer, um den zweiten höher liegenden Punkt der Scale zu finden; den Zwiſchenraum theilte er in 10 gleiche Theile und ſetzte dieſe Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punkt des deſtillirten Waſſers bezeichnete er mit 10, und zählte von da auf- und abwärts, ſo weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scale für ſpecifiſch ſchwerere Flüſſigkeiten zu beſtimmen, tauchte er das Inſtrument in deſtillirtes Waſſer, fand ſo den oberſten Punkt, hierauf in eine Auflöſung von 15 Theilen Kochſalz und 85 Theilen Waſſer, theilte den Abſtand dieſer zwei Punkte in 15 gleiche Theile, ſetzte zu jenem 0, und übertrug dieſe Eintheilung auf die ganze Spindel. Man ſieht leicht ein, daß dieſe Inſtrumente gar keinen wiſſenſchaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelſt einer Tafel die Beauméſchen Grade in ſpeciſiſche Gewichte verwandeln. — Je empfindlicher ein Aräometer iſt, ein deſto größeres Volum nimmt es ein; meiſtens reicht die Scale eines Inſtrumentes von 0.700 bis 1.000, oder von 1.000 bis 2.000, nur durch beſondere Kunſtgriffe kann man in einem Inſtrumente beide Scalen vereinigen, ohne ſeiner Empfindlichkeit Abbruch zu thun. (Zeitſch. neue Folge 2. 38.)

168. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit, auch Fahrenheit'ſche genannt, unterſcheiden ſich von den Scalenaräometern dadurch, daß ſie am oberen Ende eine Schale zur Auflegung der Gewichte, und an ihrem ſehr dünnen Halſe einen feinen Strich haben, bis zu welchem ſie ſich in jede zu unterſuchende Flüſſigkeit einſenken müſſen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wiſſen, wie viel das Inſtrument ſelbſt wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit die Einſenkung in reinem Waſſer bis zum Zeichen am Halſe erfolge. Es ſey jenes P, dieſes p. Will man die Dichte D einer Flüſſigkeit finden, ſo ſenkt man das Inſtrument darein und legt ſo lange Gewichte zu, bis die Einſenkung gehörig weit geſchieht. Heißt dieſes Gewicht p′, ſo iſt

$$D = \frac{P + p'}{P + p}, \text{ weil } P + p : P + p' = 1 : D \text{ iſt.}$$

Nicholſon erweiterte den Gebrauch dieſes Inſtrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale verſah (Fig. 55, a). Mohs bringt dieſe Schale mit Vortheil unmittelbar unter dem Halſe an (Fig. 55, b). Ein ſo eingerichtetes Aräometer kann man auch zur Beſtimmung der Dichte feſter Körper brauchen, deren Gewicht das Auflegegewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Inſtrument in reines Waſſer, legt anfangs den zu unterſuchenden Körper A ſammt ſo viel Gewicht, als zur gehörigen Einſenkung nöthig iſt, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und ſetzt dafür Gewichte zu; ſo weiß man das abſolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Waſſer befindliche Schale; ſo werden die Gewichte, die zur gehörigen Einſenkung des Inſtrumentes nöthig ſind, den Gewichtsverluſt von A im Waſſer anzeigen. Aus dem abſoluten Gewichte und dem Gewichtsverluſte im Waſſer findet man (nach 164) das ſpecifiſche Gewicht.

Siehe hierüber: Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien, 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemiſten und Technologen. Wien, 1820. Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wiſſenſchaft und Kunſt von Brandes. Hannover, 1827. 2. B. I. Abth. S. 552—630; wohl auch Gehler's phyſ. Wörterb. neu bearbeitet, und Liebig's und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie. Braunſchweig, 1837.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Platin geprägt	21.343	Wismuth gegoſſen	9.822
» gehämmert	21.314	Kupfer gehämmert	9.000
Platindraht	19.267	Kupferdraht	8.878
Platinſand	15.601	Zinn, engliſches, gegoſſen	7.291
Gold gehämmert	19.361	Stahl	7.810—7.833
» gegoſſen	19.258	Schmiedeeiſen	7.788
Queckſilber gefroren	15.612	Roheiſen	7.207—7.250
» bei 0° R.	13.598	Zink gehämmert	7.861
Blei	11.352	» gegoſſen	7.190
Silber gehämmert	10.511	Saphir blau	3.909
» gegoſſen	10.474	Zirkon	4.416

Hyacinth	4.505	Lindenholz	0.604
Topas	3.499	Korkholz	0.240
Granat edler	4.098—4.208	Alkohol	0.791
» gemeiner	3.769	Schwefeläther	0.717
Smaragd	2.678—2.775	Bor	1.480
Bergkryſtall	2.650—2.670	Phosphor	1.770—1.821
Glimmer	2.654—2.985	Schwefel	2.072
Lava	2.795—2.823	Selen	4.300
Serpentin	2.560—2.684	Jod	4.948
Kreide	1.797	Flußſäure	1.061
Perlen	2.750	Salzſäure conc.	1.200
Spiegelglas	2.370—2.450	Chlorſäure	1.300
Flintglas	3.15 —3.329	Salpeterſäure	1.522
Eis	0.885	Schwefelſäure	1.850
Buxbaumholz	1.33	Phosphorſäure	2.687
Mahagonyholz	1.06	Ammoniak flüſſ.	0.875
Pflaumenholz	0.785	Kalihydrat	1.708
Birnbaumholz	0.755	Natrumhydrat	1.536

D. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, zuſammendrückbaren, adhärirenden Flüſſigkeiten.

169. Befindet ſich eine tropfbar flüſſige Maſſe frei in einem Raume, ſo muß für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft, welche von außen auf dieſelbe wirkt oder die jedem einzelnen Theilchen zukommt, durch eine entgegengeſetzte aufgehoben werden. Dieſes kann aber nur ſeyn, wenn die Maſſe die Geſtalt einer Kugel hat. Sobald dieſe Maſſe auch noch von anderen Kräften afficirt wird, ſo verliert ſie die Kugelform deſto mehr, je mehr dieſe Kräfte gegen die den Theilchen der Flüſſigkeit eigenen vorwalten. Deßhalb erſcheinen uns auch kleine tropfbare Maſſen in Geſtalt kugelförmiger Tropfen, verlieren aber dieſe Geſtalt, ſobald ſie auf einen Körper kommen, zu dem ſie eine Adhäſion haben oder ſobald durch zu große Anhäufung der Maſſe der Druck der oberen Theile die unteren zu einer Seitenbewegung zwingt.

170. Da tropfbare Flüſſigkeiten elaſtiſch ſind (144) und von den zwei Molekularkräften die abſtoßende das Uebergewicht hat (146), ſo muß jede unendlich dünne Schichte im Inneren einer ſolchen Flüſſigkeit durch die Abſtoßung der angrenzenden Theile zuſammengedrückt werden, und man kann ſich die Sache ſo vorſtellen, als wenn ſich die genannte Schichte an die einerſeits befindliche Flüſſigkeit anſtemmte und von der andererſeits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compreſſion hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüſſigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der kleinſten Theile gleich iſt, und die Compreſſion iſt demnach für alle Schichten gleich groß, welche eine ſolche Lage haben, wenn man von der geringen Compreſſion, die von der Schwere herrührt und ſich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, abſieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüſſigen Maſſe ſeyen alle Theile in einem gleichen Zuſtande der Compreſſion. Die an der Oberfläche befindlichen Theile ſtehen nur unter dem Drucke

der äußeren, zum Beſtehen des flüſſigen Zuſtandes nöthigen Kraft, und wenn dieſe bloß die zur Ueberwältigung der abſtoßenden Molekularkraft nöthige Stärke hat, ſo ſind dieſe Theile gar nicht zuſammengedrückt. Die zunächſt unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden ſchon eine geringere Compreſſion, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und ſo kommt es, daß die Dichte der Flüſſigkeit von außen nach innen bis zu einer allerdings nur ſehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Geſetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände iſt die Dichte der Flüſſigkeit aus ähnlichen Gründen von der im Inneren verſchieden. Wirken dieſe Wände nicht auf die flüſſigen Theile, ſo verhalten ſich die letzteren ſo wie an der freien Oberfläche, wirken ſie auf die Flüſſigkeit, ſo modificiren ſie das Geſetz der Dichte und können ſogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewiſſen Entfernung abnimmt und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verſchiebbarkeit verlieren. Taucht man z. B. einen Glasſtab in Waſſer, ſo bleibt beim Herausziehen daran eine zwar an und für ſich ſehr dünne, aber gegen den Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der Theile doch noch ſehr dicke Schichte der Flüſſigkeit hängen, und erhält ſich, wenn man auch dem Stabe eine verticale Richtung gibt, wo doch ſehr leicht verſchiebbare Theile durch den Zug der Schwere zum Hinabgleiten beſtimmt werden müßten. Selbſt an der freien Oberfläche ſind die Theile wegen der nach einwärts ſich ändernden Dichte nicht ſo verſchiebbar, wie im Inneren, wo rings um jedes Theilchen alles gleich iſt, und es verhält ſich daſelbſt die Flüſſigkeit ſo, als wäre ſie mit einem feinen Häutchen überzogen. Daher kommt es auch, daß ſelbſt kleine Körper, die ſpecifiſch ſchwerer ſind als Waſſer, wie feine Bleche, Nadeln ꝛc. auf demſelben ſchwimmen, ſo lange ſie nicht übernetzt ſind und ſich nicht gleichſam unter dem oberflächlichen Häutchen befinden; ſo wie aber eine Uebernetzung eingetreten iſt, fallen ſie ſchnell in der Flüſſigkeit zu Boden.

171. Bekanntlich haben im Gleichgewichte befindliche Flüſſigkeiten nicht immer eine ebene Oberfläche, wie ſie die Schwere in kleineren Gefäßen hervorzubringen ſucht (149), ſondern dieſe iſt oft convex oder concav. Die Erfahrung lehrt, daß eine Flüſſigkeit, die das Gefäß nicht benetzt, eine convexe, die es benetzt, eine concave Oberfläche habe. So hat in einem engen Glasgefäße Queckſilber eine convexe, Waſſer eine concave Oberfläche. Selbſt in einem weiten reinen Glasgefäße erhebt ſich Waſſer an den Wänden und krümmt ſich aufwärts; wenn aber das Gefäß ganz voll iſt und man deſſungeachtet noch etwas zugießt, ſo hebt ſich dasſelbe über den Rand des Gefäßes mit einer convexen Oberfläche. Taucht man eine reine Glasplatte in Waſſer, ſo hebt dieſes ſich zu beiden Seiten des Glaſes mit einer eigenen Krümmung. Es iſt klar, daß dieſe Phänomene von den Molekularkräften herrühren, man kann aber auch beweiſen, daß ſie nur bei einer Flüſſigkeit Statt haben können, deren Dichte ſich von der äußerſten Schichte

nach einwärts ſchnell ändert, und daß daher völlig unzuſammendrückbare Flüſſigkeiten ſtets eine horizontale Oberfläche haben müßten.

172. Die Geſtalt der Oberfläche einer Flüſſigkeit und die Verſchiedenheiten in der Dichte ihrer äußerſten Schichte begründen eine beſondere Wirkung der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt. Um dieſe kennen zu lernen, ſey ABCD (Fig. 56) eine tropfbare Maſſe, deren Oberfläche im Zuſtande des Gleichgewichtes eben iſt. Man denke ſich im Inneren eine unendlich dünne Säule GH und nehme in derſelben ein Theilchen m an, deſſen Entfernung von der Oberfläche AB geringer iſt, als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der Flüſſigkeit. Denkt man ſich unterhalb dieſes Theilchens die horizontale Ebene EF, in gehörigem Abſtande von m (bei völliger Gleichheit der Dichte der Flüſſigkeit von der Oberfläche AB angefangen, müßte die Ebene EF ſo gewählt werden, daß ſie von m eben ſo weit abſteht, wie AB von dieſem Punkte); ſo üben alle innerhalb AB und EF liegenden Theile der Säule GH gleiche und entgegengeſetzte Wirkungen auf m aus und dieſe heben ſich daher auf. Allein die unter EF liegenden Theile können ihre Wirkung auf m ungeſtört ausüben, und von dieſen hängt daher auch die Wirkung der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt ab. Doch wird man aus allem dem noch nicht einſehen, ob die aus den Wirkungen aller Theile hervorgehende abſtoßend oder anziehend iſt. Man nenne ſie P, ohne darum zu fragen, ob ſie einwärts oder auswärts zieht, und denke ſich von der Maſſe ABCD (Fig. 57) den Meniskus AEFB weggenommen ſo, daß ſie mit einer Convexität aufhört, welche von AB im Punkte G berührt wird. Kennt man die Wirkung dieſes Meniskus auf die übrige Maſſe, ſo darf man ſie nur von P wegnehmen, um die Wirkung der von einer Convexität begrenzten Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt zu erhalten. Die Wirkung dieſes Meniskus auf G iſt aber anziehend; denn an der Stelle, wo ſeine Theile nahe genug an G liegen, um abſtoßend darauf zu wirken, iſt er zu dünn, und wo er dick genug iſt, mithin der wirkenden Theile hinlänglich viele ſind, da hat ſchon die Anziehung über die Abſtoßung das Uebergewicht. Es ſey nun m ein Theilchen des Meniskus, deſſen Entfernung von G kleiner iſt, als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre. Man ziehe mG und dann mn ſo, daß Gmn ein gleichſchenkeliges Dreieck wird. Nun übet m auf G eine Wirkung aus, die ſich in zwei zerlegen läßt, wovon eine einwärts, die andere parallel mit AB von der Säule GH gegen die Wand BD hinzieht. Auf gleiche Weiſe läßt ſich die Wirkung von m auf n in eine auswärts gehende und in eine mit AB parallele Kraft zerlegen. Die beiden erſteren heben einander auf, und die beiden letzteren werden durch jene zwei entgegenwirkende Kräfte aufgehoben, die ein ähnlich liegendes Theilchen auf der entgegengeſetzten Seite des auf der Oberfläche ſenkrechten Canals GH ausübet. Was von G und n bewieſen iſt, das gilt von jedem Theilchen, das zwiſchen den Schenkeln des Dreieckes Gmn liegt; m wirkt aber auch auf die unter n liegenden Theile, indem es ſie auswärts zieht, und dieſe Wirkung wird nicht mehr durch eine Gegenwirkung aufgehoben. Es wird

daher die Geſammtwirkung von m darin beſtehen, die Theile der Säule GH auswärts zu ziehen, und deßhalb wird auch die Wirkung des ganzen Meniskus auswärts ziehend ſeyn. Heißt die Wirkung des Meniskus — Q (wo das Zeichen — die Wirkung nach auswärts anzeigt), ſo iſt die Wirkung einer convex ſich endigenden Flüſſigkeit $= P - (-Q) = P + Q$. — Würde der Oberfläche AB der Meniskus KABL zugeſetzt, ſo bekäme ſie eine concave Oberfläche, und die Wirkung der Flüſſigkeit auf die Säule GH wäre dann gleich P, mehr der Wirkung des zugeſetzten Meniskus. Macht man GO mit mn parallel und gleich, ſo wirkt das in O befindliche Theilchen auf die unter G liegenden gerade ſo, wie m auf die unter n befindlichen, mithin auswärts ziehend. Es wird alſo die Wirkung des Meniskus KABL in einem Zuge nach auswärts beſtehen. Nennt man ihn wie vorhin — Q, ſo muß die Wirkung auf die Säule GH ſeyn

$$P + (-Q) = P - Q.$$

173. Von der hier betrachteten Einwirkung rühren die an Haarröhrchen bemerkbaren Erſcheinungen, Capillaritätsphänomene, her. Man nennt nämlich Röhrchen, deren innerer Durchmeſſer ſo klein iſt, daß darin eine Flüſſigkeit keine ebene Oberfläche mehr hat, Haarröhrchen, wenn ſich auch ihre Bohrung nur von Weitem der Dicke eines Haares nähert. Taucht man ein ſolches Röhrchen von reinem Glaſe in ein mit Waſſer angefülltes Gefäß, ſo ſteigt dieſes im Inneren des Röhrchens gegen das in 151 erwieſene Geſetz über die Fläche des äußeren Waſſers. Dasſelbe geſchieht auch mit jeder anderen Flüſſigkeit, die das Material des Röhrchens benetzt, während eine ſolche, bei welcher dieſer Umſtand nicht eintritt, im Röhrchen unter der äußeren Flüſſigkeit zurückbleibt, wie z. B. Queckſilber in Glas. Dieſe Erſcheinungen finden im luftleeren Raume eben ſo, wie in der Luft Statt, ſind alſo von der Einwirkung der Luft ganz unabhängig. Die Höhe, um welche die Säule der Flüſſigkeit im Röhrchen höher oder tiefer ſteht, als außerhalb desſelben, iſt deſto bedeutender, je kleiner der Durchmeſſer des Röhrchens iſt, übrigens aber unabhängig von der Dicke der Röhrchenwand, von der Größe des eingetauchten Stückes, von der Länge des Röhrchens, wenn dieſe nur nicht kürzer iſt, als die gehobene Säule, ja ſelbſt das Material des Röhrchens hat, nach den Verſuchen einiger Phyſiker, keinen Einfluß auf die Länge dieſer Säule, wenn das Röhrchen nur von der Flüſſigkeit naß wird, und man die Vorſicht gebraucht hat, vor dem Verſuche die innere Wand der ganzen Länge nach zu befeuchten. Für verſchiedene Flüſſigkeiten iſt die Länge der Säule ſelbſt unter denſelben Umſtänden verſchieden. — Die Wichtigkeit dieſer Erſcheinung zog ſchon früh die Aufmerkſamkeit der Naturforſcher auf ſich, aber die größten Köpfe verſuchten ſich vergebens daran, bis es in der neueren Zeit gelang, ihre Theorie aus der größten Tiefe der Analyſis zu ſchöpfen, und dadurch die Sache nicht bloß im Allgemeinen zu erklären, ſondern auch ihr Maß anzugeben und ihre Verbindung mit anderen Erſcheinungen, die man ſonſt für ganz ungleichartig hielt, nachzuweiſen.

174. Es ſey ABCD (Fig. 58) ein Röhrchen, das bis EF in eine Flüſſigkeit getaucht iſt, welche außerhalb desſelben eine ebene Oberfläche GH hat, im Röhrchen aber mit der Krümmung ILK endigt. Man denke ſich in der Axe des Röhrchens die ſehr dünne Säule LM, gebe ihr im Gedanken in M die horizontale Richtung MN, hierauf wieder die verticale NO, und unterſuche die Bedingungen des Gleichgewichtes der Säulen ON und LM. Es heiße demnach die Höhe der Säule ON $= a$, jene der Säule LM $= \alpha$, das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit s, die Baſis der drückenden Säulen b, die von außen auf die Flüſſigkeit wirkende Kraft (in den meiſten Fällen der Luftdruck) p, ferner mögen P und Q die vorhin (172) angenommenen Bedeutungen haben, wo P das Zeichen mit ſich führt. Da iſt nun der Druck der Säule ON gleich $asb + p + P$, jener der Säule LM gleich $\alpha sb + p + P \mp Q$, wo das obere Zeichen gilt, wenn die Oberfläche der Flüſſigkeit concav, das untere, wenn ſie convex iſt; mithin für den Fall des Gleichgewichtes $asb + p + P = \alpha sb + p + P \mp Q$, oder für den Fall einer concaven Oberfläche $Q = bs\,(\alpha - a)$, für den Fall einer convexen $Q = bs\,(a - \alpha)$, mithin im erſten Falle $\alpha > a$, im letzten $a > \alpha$, d. h. eine Flüſſigkeit mit convexer Oberfläche wird in einem Haarröhrchen deprimirt, eine mit concaver Oberfläche gehoben, wie es auch die Erfahrung lehrt. Man kann zeigen, daß man hat

$$Q = {}^1/_2\, H \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{b'}\right),$$

wo H eine durch die Natur und Compreſſibilität der Flüſſigkeit beſtimmte Größe, b und b′ aber den größten und kleinſten Krümmungshalbmeſſer der Oberfläche bedeuten, die übrigens wie immer beſchaffen ſeyn mag. — In cylindriſchen Haarröhrchen kann die Oberfläche der Flüſſigkeit als Kugelfläche angeſehen werden, bei welcher $b = b'$ iſt. Man hat daher bei ſolchen Röhrchen $Q = \frac{H}{b}$; weil aber b dem Halbmeſſer des Röhrchens proportionirt iſt, ſo verhalten ſich die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen verkehrt, wie die Halbmeſſer der Röhrchen, ein Reſultat, welches durch mehrere von Haüy und Tremery angeſtellte Verſuche aufs ſchönſte bekräftiget wird.

Die Halbmeſſer ſolcher Röhrchen kann man ſehr ſcharf dadurch beſtimmen, daß man ſie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Queckſilberſäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht beſtimmt, und ſo aus der Differenz beider Reſultate das Gewicht p der hineingebrachten Queckſilberſäule findet. Hat die Säule die Länge a, ſo iſt ihr Gewicht $\pi r^2 as = p$, wenn r den Halbmeſſer des Röhrchens und s das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers bedeutet. Mithin iſt

$$r = \sqrt{\frac{p}{\pi as}}.$$

Zur Erläuterung des Werthes von b und b′ ſtelle man ſich eine krumme Oberfläche eines Körpers, von was immer für einer Geſtalt vor, und denke ſich durch einen auf ihr gewählten Punkt nach allen Richtungen Ebenen gelegt, die auf der genannten Fläche ſenkrecht ſtehen. Da ſchneidet jede derſelben die Fläche in einer krummen Linie, und man kann ſich für jede dieſer Curven einen Kreis denken, der dieſelbe Krümmung hat,

wie ein Element der Curve am Punkte, um den es ſich handelt. Der Halbmeſſer dieſes Kreiſes iſt der Krümmungshalbmeſſer. Man kann beweiſen, daß im Allgemeinen die zwei Ebenen, in welchen die Kreiſe mit der größten und der kleinſten Krümmung liegen, auf einander ſenkrecht ſtehen.

175. Dieſe Theorie läßt ſich auch auf Erſcheinungen anwenden, die mit denen in Haarröhrchen verwandt ſind; ja ſie gibt von ihnen nicht bloß allgemeine Erklärungen, ſondern beſtimmt ſie dem Maße nach: Schon Newton hat bemerkt, daß Waſſer zwiſchen zwei nahen, parallelen Wänden nur halb ſo hoch ſteigt, als in einem Röhrchen, deſſen innerer Durchmeſſer der Entfernung der Flächen gleich iſt, ohne dafür eine Erklärung geben zu können. Nach der vorhin entwickelten Theorie iſt die Wirkung eines Haarröhrchens vom obigen Halbmeſſer gleich $\frac{H}{b}$; für zwei parallele Ebenen (wo $b' = \infty$, weil die Oberfläche der Flüſſigkeit längs der Wände nicht gekrümmt iſt) $\frac{1}{2}\frac{H}{b}$, gerade ſo, wie die Erfahrung lehrt. — Mit gleicher Leichtigkeit erſieht man aus der gegebenen Theorie den Grund folgender Erſcheinungen: Taucht man ein gläſernes Röhrchen in Weingeiſt, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit ſich unten ein Tropfen bilde; ſo hat die darin befindliche, ſchwebend erhaltene Säule eine doppelt ſo große Länge, als diejenige, welche ſich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende im Weingeiſte ſtehen bleibt. Gießt man Weingeiſt in eine heberförmige Röhre, wovon ein Arm ein Haarröhrchen bildet, ſo ſteht natürlich die Flüſſigkeit in dieſem höher, als im anderen weiteren Arme. Neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin; ſo nimmt der Höhenunterſchied in beiden Armen beſtändig ab, ſo wie die flüſſige Säule, vermög der Reibung an den Wänden, eine minder concave Oberfläche annimmt. — Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem ſehr ſpitzigen Winkel zuſammen und tauchet ſie ſo, daß ihre Vereinigungslinie vertical ſtehet, in Waſſer; ſo erhebt ſich dieſes, und die Endpunkte der gehobenen Maſſe bilden eine Hyperbel. Hält man ein coniſches, beiderſeits offenes Röhrchen ſo, daß ſeine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Oeffnung eine kleine Säule von Waſſer hinein, ſo bewegt ſich dieſe Säule gegen die kleinere Oeffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es läßt ſich hier ſogar der nöthige Neigungswinkel berechnen. — In die Reihe der Capillaritätsphänomene ſcheinen auch jene zu gehören, welche Dutrochet mit dem Namen Endosme und Exosme belegt hat, und die im Weſentlichen darin beſtehen, daß zwei verſchiedene Flüſſigkeiten, welche durch eine dünne, durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Blaſe, von einander getrennt ſind, durch dieſe Scheidewand in zwei entgegengeſetzten Strömen mit einander in Communication treten, ſo daß eine der zwei Flüſſigkeiten, und zwar diejenige, welche in einem Haarröhrchen am meiſten gehoben wird, über ihr Niveau emporſteigt. (Du-

trochet in Pogg. Ann. 11. 138, 28. 359. Poiſſon ebend. 134. Fiſcher ebend. 126. Schweigger in Schweigg. J. 58. 1. Wach ebend. 58. 20.) — Auch die Wirkung einer Flüſſigkeit auf die Wände eines Körpers, der ſie einſchließt, ergibt ſich aus dieſer Theorie. Denn ſind ACBD (Fig. 54) zwei feſte Wände, zwiſchen welchen eine Flüſſigkeit bis PRQ geſtiegen iſt, während dieſelbe außerhalb der Wände bis EF reicht; ſo iſt klar, daß alle Punkte dieſer Wände von P bis C und von Q bis D von der Flüſſigkeit gleich ſtark nach entgegengeſetzten Seiten gedrückt werden; die Punkte oberhalb P und Q erleiden aber von den Theilen der Flüſſigkeit einen Druck gegen einander, ohne von innen durch einen Gegendruck im Gleichgewichte erhalten zu werden. Sind daher dieſe Wände leicht beweglich, ſo müſſen ſie ſich einander nähern. Dasſelbe muß auch Statt finden, wenn die Flüſſigkeit zwiſchen den Wänden bis IK geſtiegen iſt, wiewohl man auf den erſten Blick das Gegentheil vermuthen ſollte. Die Punkte der Wände von C bis E und von D bis F erleiden zwar nach außen und nach innen einen gleichen Druck, aber jeder Theil derſelben oberhalb EF, z. B. a, wird nach innen gedrückt, ohne einen Gegendruck zu erleiden. Denn man denke ſich a mit LR durch den Canal ac verbunden, und man wird einſehen, daß c mit der Kraft $\frac{H}{b}$ auswärts gezogen wird (174), welche dem Drucke einer flüſſigen Säule von der Länge LS gleich kommt, einwärts hingegen durch den Druck der Säule Lc. Die Reſultirende beider iſt ein Zug nach auswärts, welcher der Säule $Ls - Lc = Sc$ entſpricht. Gleichwie nun ein auf c einwärts ausgeübter Druck einen eben ſo großen Seitendruck nach der Richtung ca hervorbringt (140), eben ſo muß der auf c auswärts ausgeübte Druck einen Seitendruck auf a nach der Richtung ac verurſachen. Es wird daher a mit einer Kraft einwärts gezogen, welche dem Drucke einer flüſſigen Säule von der Länge Sc entſpricht. Da dieſes eben ſo mit jedem anderen Punkte der Seitenwand EI der Fall iſt, und nur die Intenſität, nicht die Richtung der Kraft, von Punkt zu Punkt ſich ändert, ferner, da für die Wand FK dasſelbe gilt, was von EI bewieſen iſt; ſo müſſen beide Wände einen Druck nach einwärts erleiden, und ſich daher, wenn ſie beweglich ſind, einander nähern. Die Capillarität modificirt auch den Druck, welchen ſchwimmende, aber nicht ganz eingetauchte Körper von der umgebenden Flüſſigkeit erleiden; denn es gehen aus der Capillarität zwei horizontal wirkende Kräfte hervor, und ſuchen eine Bewegung im horizontalen Sinne zu erzeugen. Dieſe bemerkt man an leichten ſchwimmenden Körpern, welche in die Nähe des Gefäßrandes kommen. Auch die Bewegung zweier in einer Flüſſigkeit ſchwimmenden Kugeln gehört hierher, die ſich anzuziehen ſcheinen, wenn ſie beide von der Flüſſigkeit benetzt werden oder beide trocken bleiben, hingegen abzuſtoßen, wenn eine benetzt wird, die andere nicht.

Auf der Wirkung der Capillarität beruht der ſtarke Zuſammenhang zwiſchen zwei etwas angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zuſammengeſchobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die

mit flüſſigem Fett überſtrichen und hierauf der Kälte ausgeſetzt werden, damit das Fett ſtocke (Muſſchenbroek's Cylinder); ferner das Zuſammenbacken feiner, feuchter Erdtheile zu einer ſoliden Maſſe (Sandſtein), die Schwierigkeit, naſſe Papierblättchen von einander zu trennen. Es ſcheint dieſer Umſtand überhaupt beim Feſtwerden der Körper eine große Rolle zu ſpielen.

176. Aus der Anziehung in Haarröhrchen erklären ſich mannigfaltige Erſcheinungen, z. B. das Durchſeihen der Flüſſigkeiten durch poröſe, feſte Körper, wie Löſchpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode, den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde ſteht; das Aufziehen des Weingeiſtes, Oehles ꝛc. in die Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens. Das Wegnehmen eines Tropfens mittelſt Löſchpapier, das Abwiſchen des Schweißes mit einem Tuche geſchieht durch Capillarität. In die Gefäße organiſcher Körper kann eine Flüſſigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation geſetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität ſey, erſieht man daraus, daß man mittelſt derſelben Mühlſteine losſprengen kann, daß ſich Stricke, die durch bedeutende Gewichte geſpannt ſind, durch ſie verkürzen, wenn ſie naß werden ꝛc. (*Théorie de l'action capillaire par M. La Place. Paris*, 1806. Im Auszuge in Gilb. Ann. B. 33. *Nouvelle théorie de l'action capillaire. Par S. D. Poisson. Paris*, 1831. Im Auszuge in Pogg. Ann. 25. 270. Link ebend. 29. 404.)

Sechstes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern (Aeroſtatik).

177. Ausdehnſame Körper haben mit den tropfbar flüſſigen die abſolut leichte Verſchiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterſcheiden ſich aber von ihnen durch ihre Zuſammendrückbarkeit und ihr Beſtreben, immer ein größeres Volum einzunehmen, d. h. durch ihre Ausdehnſamkeit. Bei ausdehnſamen Körpern hat, wie bei tropfbaren, die abſtoßende Kraft der kleinſten Theile das Uebergewicht über ihre anziehende; der Unterſchied zwiſchen beiden liegt nur darin, daß bei tropfbaren die reſultirende Abſtoßung nur ein kleiner Theil der anziehenden und abſtoßenden Kräfte der kleinſten Theile und überhaupt wohl nicht viel größer als das Gewicht der kleinſten Theile iſt, während bei ausdehnſamen die Abſtoßung ein ſo entſchiedenes Uebergewicht hat, daß die anziehende Kraft dagegen ganz verſchwindet, und daß erſtere das Gewicht der kleinſten Theile vielfach überwiegt. (Nähere Aufklärung hierüber in der Wärmelehre.) Alle Geſetze des Gleichgewichtes dieſer Körper gehen aus dem Verhältniſſe ihrer Ausdehnſamkeit zur Schwere und Adhäſion hervor, daher man auch dieſe Eigen-

ſchaften und ihr Verhältniß zu einander vor der Erörterung jener Geſetze kennen lernen muß.

A. Schwere und Ausdehnſamkeit der Gaſe.

178. Wenn man eine etwa drei Fuß lange, einige Linien weite, an einem Ende verſchloſſene Glasröhre mit Queckſilber füllt, ſie dann mit dem Finger verſchließt, umwendet und mit dem zugehaltenen Ende vertical in ein anderes Gefäß mit Queckſilber ſtellt, ſo ſinkt, nachdem man den Finger weggezogen hat, das in der Röhre befindliche Queckſilber ungefähr bis auf 28 Zoll herab und bleibt in dieſer Höhe ſchweben. Daß dieſes nicht von einer Adhäſion herrühre, läßt ſich ſchon aus der erhabenen Oberfläche des Queckſilbers im Glaſe erkennen, ja ſogar augenſcheinlich zeigen, indem das Queckſilber alſogleich bis zu einer, den hydroſtatiſchen Geſetzen entſprechenden Höhe herabſinkt, ſobald man die Röhre oben öffnet. Dasſelbe läßt ſich auch mit Waſſer bewirken, nur iſt die Waſſerſäule 32 Fuß hoch, mithin gerade in dem Verhältniſſe größer, in welchem die Dichte des Waſſers geringer iſt als jene des Queckſilbers. Es muß daher auf das offene Ende der Röhre ein Druck ausgeübt werden, der wohl nur der Luft zugeſchrieben werden kann. Die erwähnte Röhre heißt man die Torricelliſche Röhre, den über dem Queckſilber entſtehenden leeren Raum Torricelliſche Leere, weil Torricelli dieſen Verſuch zuerſt angeſtellt hat.

Zu dieſem Verſuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlaſſung, die das Waſſer mittelſt einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Dieſes würde ihnen gar nicht aufgefallen ſeyn, wenn man nicht damals der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeſchrieben hätte, der doch bei ihrem Verſuche zwiſchen dem Waſſer und dem Kolben der Pumpe entſtanden war. Sie wendeten ſich an den berühmten Galiläi, um in ihrer phyſikaliſchen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erſt deſſen Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Urſache dieſer Erſcheinung (im Jahre 1643) aufzudecken.

179. Es iſt klar, daß die Torricelliſche Röhre nicht allein den Druck und die Schwere der Luft beweiſet, ſondern erſteren auch mißt. Deßhalb heißt man eine ſolche Röhre, wenn ſie mit einer Scale verſehen iſt, welche die Höhe der Queckſilberſäule mißt, Barometer (Druckmeſſer). Soll ein Barometer gut und zu genauen Beobachtungen brauchbar ſeyn; ſo muß die Röhre, wenigſtens um das Ende der Queckſilberſäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie ſeyn, eine gute in Zoll und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einen Nonius haben. Das Queckſilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet ſeyn und in der Röhre ſelbſt ſo lange gekocht werden, bis ſich ſelbſt während des Kochens keine Luftblaſe mehr zeigt; doch hat man dabei beſondere Sorge zu tragen, daß ja während des Kochens kein Queckſilberoxyd entſteht, welches mit dem metalliſchen Queckſilber eine Maſſe bildet, die ſich an das Glas anhängt und ganz andere Capillaritätsverhältniſſe

befolgt, als reines Queckſilber. Es dürfte darum räthlich ſeyn, in die mit Queckſilber gefüllte, aufgeſtellte Röhre zu wiederholten Malen eine ſtarke Waſſerſtoffgasblaſe aufſteigen zu laſſen und ſie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückſtändige Luft nur aus dieſem Gaſe beſtehe, das nicht bloß keine Oxydbildung geſtattet, ſondern für das etwa ſchon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitſchrift 10. 234.)

Das Queckſilber im Barometer nicht zu kochen, wie neueſtens wieder empfohlen worden iſt, um die Adhäſion desſelben an das Glas zu vermeiden, iſt nicht gut und ein Rückſchritt in der Phyſik, indem man ſich, um einem Fehler auszuweichen, einem größeren Preis gibt. Wenn man zu Barometerröhren ſehr hartes Glas wählt, macht die Adhäſion wenig Unſicherheit.

180. Ohne die Künſteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen oder in zierliche Möbel umzuſtalten ſuchte, wie man dieſes an Hughen's und Hook's Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer ꝛc. ſehen kann, geben wir nur drei verſchiedene Formen derſelben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig iſt, dient das Barometer mit dem birnförmigen Gefäße A (Fig. 59), welches Gefäß im Verhältniſſe zur Röhre weit genug iſt, damit beim Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße ſo klein als möglich ausfallen. Wenn einem auch nicht ſehr viel an einer völligen Genauigkeit ſolcher Barometer liegt, ſo darf man doch nicht annehmen, daß die Länge der Queckſilberſäule, welche dem Längenunterſchiede der Säulen in beiden Armen A und B, nämlich ab gleich iſt, das beiläufige Maß des Luftdruckes ſey; denn dieſe Säule iſt wegen der Einwirkung der Capillarität zu kurz, und zwar um ſo mehr, je enger die Röhre B gegen das Gefäß A iſt. Laplace hat nach ſeiner Theorie der Haarröhrchen eine Tafel berechnet, welche die Erniedrigung des Queckſilbers in Röhren von verſchiedenem Durchmeſſer angibt — Zu genaueren Beobachtungen bedient man ſich eines Gefäßbarometers, von der Form Fig. 60, wo B wieder die Barometerröhre vorſtellt, A aber ein weites, cylindriſches Gefäß, deſſen unterer Boden durch eine Schraube a gehoben oder geſenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Queckſilbers immer in demſelben Stande zu erhalten. Gut iſt es, die Mündung des Barometerrohres zu verengen und das Ende, woran ſie ſich befindet, aufwärts zu krümmen, um das Eintreten von Luft in die Röhre zu hindern. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Queckſilbers im Gefäße A ganz abſehen, wenn es weit genug iſt; will man aber genaue Reſultate erhalten, ſo muß das Niveau des Queckſilbers daſelbſt bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpunkte der Scale (mit den nöthigen Correctionen wegen der Capillarität) entſpricht. Dieſes erhält man, wenn man mittelſt der Schraube a das Queckſilber ſo weit hebt oder ſenkt, bis deſſen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens ange-

brachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf ſchwimmendes, durch den Deckel der Queckſilberbüchſe hervorragendes Stängelchen eine beſtimmte Höhe erreicht hat. Fig. 61, a und b ſtellen dieſe zwei Einrichtungen der Queckſilberbüchſe beſonders vor. Erhebt man mittelſt der Schraube c den mit Leder gefütterten Boden des Queckſilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt iſt (in welcher man vorläufig das Queckſilber durch Neigen bis an die Wölbung ſteigen gemacht hat), oder wenigſtens das Queckſilber in dem Gefäße ſo einengt, daß es ſich nicht bewegen kann; ſo iſt das Inſtrument geſperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Queckſilbers im geſperrten Zuſtande die Röhre nicht ſprenge und bei der Zuſammenziehung desſelben durch Kälte kein leerer Raum entſtehe, muß der Boden des Queckſilbergefäßes elaſtiſch ſeyn, damit er ſich immer an das Queckſilber anſchließe, wenn es ſich zuſammenzieht, und ihm auch nachgebe, wenn es ſich ausdehnt. Das vollkommenſte Barometer iſt ohne Zweifel das Fig. 62 abgebildete. Es beſteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denſelben Durchmeſſer hat, wie der längere dort, wo die Queckſilberſäule ſpielt. Wenn ein ſolches Inſtrument gehörig von Luft gereinigt iſt, ſo gibt ab, als der Höhenunterſchied der Queckſilberſäule in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an, ohne einer Correction wegen der Capillarität zu bedürfen; denn die Wirkungen der Capillarität ſind in beiden Schenkeln einander gleich und entgegengeſetzt. Steigt das Queckſilber im längeren Arme, ſo fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es iſt zwar die Länge der Queckſilberſäule in dc eben ſo veränderlich, wie in ab, aber die Größen dieſer Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich ſeyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmeſſer haben, eine Eigenſchaft, die man gar ſelten findet. Wäre dieſe Eigenſchaft leichter zu erhalten, ſo dürfte man nur die Höhe ab ein- für allemal von a bis b meſſen, ihr Maß in b verzeichnen und die Veränderungen in b doppelt nehmen, ohne die in c zu berückſichtigen. Um ſich aber auf eine ſo ſchwer zu erhaltende Sache nicht verlaſſen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man ſie in d an eine Schraubenmutter befeſtiget, welche durch die am Brete ABCD angebrachte Schraube e gehoben oder geſenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, ſchraubt man die Röhre ſo, daß die Oberfläche des Queckſilbers einem fixen Punkte c entſpricht. Mehr hierüber in: Luz vollſtändige und auf Erfahrung gegründete Beſchreibung von Barometern. Nürnberg und Leipzig, 1784; oder in Gehler's phyſ. Wörterbuche, neu bearbeitet. Art. Barometer. Kupffer in Pogg. Ann. 26. 446. Buff ebend. 31. 266.

181. Da die Queckſilberſäule des Barometers mit dem Luftdruck im Gleichgewichte ſteht, ſo muß dieſer ſo groß ſeyn, wie der Druck einer Queckſilberſäule, deren Höhe der jeweiligen Barometerhöhe und deren Baſis der gedrückten Fläche gleich iſt. Wegen der großen Höhe der Atmoſphäre und der geringen Dichte der Luft darf man auf die Neigung dieſer Fläche gegen den Horizont keine Rückſicht nehmen, und

kann den Druck auf eine geneigte Fläche wie den auf eine horizontale berechnen. Man braucht daher zum Behufe dieſer Rechnung nur die Größe der gedrückten Fläche und den Barometerſtand zu kennen, und zu wiſſen, daß ein Wiener Kubikfuß Queckſilber bei 0° C. 766.530 W. Pfd., mithin ein K. Z. 14.1950 Loth wiege. Allein für jede andere Temperatur iſt dieſes Gewicht, mithin auch die Länge der demſelben Luftdruck entſprechenden Queckſilberſäule anders, und muß erſt vorläufig auf die Normaltemperatur 0° C. reducirt werden. Dieſe Correction beruht auf der Thatſache, daß ſich die Länge einer Queckſilberſäule, die bei 0° C. als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $^1/_{5550}$ ändere. Heißt daher b die bei t° C. beobachtete und b′ die auf 0° reducirte Barometerhöhe, ſo iſt wegen

$$b' + \frac{b't}{5550} = b,\; b' = b : \left(1 + \frac{t}{5550}\right)$$

oder b′ nahe gleich $b - \frac{bt}{5550}$, wo t poſitiv oder negativ zu nehmen iſt, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispunkte ſteht.

Im Mittel beträgt die Höhe der Queckſilberſäule im Barometer in Wien 28.409 W. Z. Eine Säule von dieſer Höhe und einem Q. Zoll Baſis drückt wie ein Gewicht von 12.6 Pfd. Demnach beträgt der Druck, den die Luft auf einen erwachſenen Menſchen ausübt, deſſen Oberfläche man zu 15 Q. F. annehmen kann, 27225 Pfd. Dieſen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, ſelbſt von innen heraus wirkt, und wir unſern Zuſtand nicht mit dem, wo dieſer Druck fehlt, vergleichen können; ſelbſt kleine Veränderungen dieſes Druckes, wie ſie oft in der Atmoſphäre Statt finden, treten für den geſunden Menſchen unbemerkt ein, und geben ſich nur bei ſehr empfindſamen Individuen durch ein Uebelfinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie ſie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer iſt, in tiefer liegende kommen, oder umgekehrt, verurſachen ſelbſt bei geſunden und kräftigen Individuen ein Uebelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. Der Druck, welchen die atmoſphäriſche Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das abſolute Gewicht der ganzen Atmoſphäre beläuft ſich auf 9648o Billionen Zentner W. G.

182. Die Möglichkeit, eine mit Luft gefüllte Blaſe zuſammenzudrücken und ihre ſchnelle Ausdehnung, wenn der Druck nachläßt, nebſt dem Umſtande, daß Luft in jeder auch noch ſo geringen Menge das ganze Gefäß einnimmt, in welches ſie eingeſperrt iſt, beweiſen die Ausdehnſamkeit derſelben. Da dieſes zu allen Zeiten zutrifft, ſelbſt mit Luft, die in verſchloſſenem Raume aufbewahrt wird, wie Roberval's und Muſſchenbroek's Verſuche beweiſen, wo eine Portion Luft mehrere Jahre hindurch eingeſperrt erhalten ward, und man deßhalb gewiß ſeyn konnte, daß der Verſuch genau mit derſelben Luft gemacht wurde; ſo muß dieſe Ausdehnſamkeit wohl für beſtändig gelten.

183. Die Ausdehnſamkeit eines Gaſes hängt von ſeiner Natur, Dichte und Temperatur ab. Die abſtoßende Kraft, mit welcher je zwei Theilchen eines Gaſes auf einander wirken, d. h. die Expanſivkraft desſelben, iſt bei verſchiedenen Gaſen, ſelbſt bei glei-

cher Temperatur und Entfernung der Theile von einander, verſchieden. Nähert man dieſe Theilchen einander, d. h. verdichtet man das Gas, oder erwärmt man es; ſo unterſtützt man die abſtoßende Kraft und ſteigert dadurch die Expanſivkraft. In welchem Verhältniſſe aber die Expanſivkraft eines Gaſes wachſe, wenn die Dichte oder Temperatur um eine gewiſſe Größe zugenommen hat, dieſes läßt ſich nur aus Verſuchen entnehmen.

184. Wenn man in eine gebogene Röhre ABC (Fig. 64), deren kürzerer Schenkel verſchloſſen iſt, Queckſilber gießt, ſo daß es im längeren bis D, im kürzeren bis E reicht; ſo erleidet die in EC eingeſchloſſene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Queckſilberſäule DF, dem ihre Ausdehnſamkeit nebſt ihrem Gewichte das Gleichgewicht hält. Heißt die Barometerhöhe b, die Höhe der Queckſilberſäule $DF = a$; ſo kann der Druck einer Queckſilberſäule von der Länge $b + a$ als das Maß der Ausdehnſamkeit der Luft in EC angeſehen werden, weil das Gewicht derſelben unbedeutend iſt. Vermehrt man die Queckſilberſäule a langſam und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft EC einnimmt; ſo lehrt die Erfahrung, daß letzterer in demſelben Verhältniſſe vermindert wird, in welchem die drückende Kraft, mithin $b + a$ zunimmt, die Luft kann übrigens atmoſphäriſche oder eine andere, oder gar ein Gemiſch von mehreren ſeyn, wenn ſie nur vor dem Verſuche gut ausgetrocknet wird, und während des Verſuches keine Aenderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Reſultat findet man, wenn man die Luft, ſtatt ſie zu verdichten, durch Verminderung der drückenden Kraft verdünnt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 65), die auf einer Seite offen, auf der anderen mit einem Hahne B verſchloſſen iſt, und eine eben ſo lange zweite, aber viel weitere und unten geſchloſſene Röhre C. Dieſe wird zum Theile mit Queckſilber angefüllt und erſtere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor ihr Hahn geöffnet worden iſt. Sobald die Einſenkung auf eine beliebige Tiefe geſchehen iſt, ſchließt man den Hahn, und bemerkt das Volum der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerſtand b entſpricht, hebt ſie dann um ein beliebiges Stück aus dem Queckſilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasſelbe hervortreten zu laſſen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Queckſilberſäule in der engen Röhre eine Höhe a, ſo erleidet die Luft darin einen Druck $b - a$, und dieſer Druck wird ſtets dem Luftvolum verkehrt proportionirt gefunden. Dieſes Geſetz, welches das Mariotte'ſche genannt wird, läßt ſich ſo ausdrücken: Die Dichte der Luft wächſt bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der drückenden Kraft, oder was dasſelbe heißt, die Ausdehnſamkeit der Luft iſt ihrer Dichte proportionirt. Es hat ſich bei der atm. Luft, ſelbſt noch bei einer 27fachen Verdichtung und einer 112fachen Verdünnung, vollkommen bewährt. (Zeitſch. 8. 114.)

Nach Oerſted (Schweigg. J. 45. 352) gilt es nicht bloß für atm. Luft, ſondern auch für viele andere Gasarten bis zu einer 66maligen Ver-

dichtung; aber nach Despreʒ's noch einer weiteren Beſtätigung erheiſchenden Verſuchen (Schweigg. J. 51. 108) ſoll Waſſerſtoffgas ſchon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, ſo wie das ſchwefeligſaure und ſchwefelwaſſerſtoffſaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von dieſem Geſetze abweichen. Wiewohl aber die Grenzen, innerhalb welchen dieſes Geſetz für Gaſe gilt, noch nicht feſtgeſetzt ſind, ſo liegt doch das Daſeyn ſolcher Grenzen in der Natur der Gaſe. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß alle ausdehnſame Körper nur einen gewiſſen Druck ertragen, ohne tropfbar zu werden. Ueberſchreitet man dieſen Druck, ſo kommen ſich die Theile des Gaſes näher, als es mit dem Beſtehen ſeiner Ausdehnſamkeit verträglich iſt, es muß ein Theil desſelben tropfbar werden, und das Mariotteſche Geſetz hört auf, fernerhin giltig zu ſeyn, weil die Verſtärkung der drückenden Kraft keine weitere Verdichtung erzeugt. Dieſes hat Oerſted erfahren, als er atm. Luft und ſchwefeligſaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer $2^1/_4$maligen Verdichtung einerlei Gang; weiter hinaus wuchs bei demſelben Drucke die Dichte der atm. Luft ſchneller als die des ſchwefeligſauren Gaſes, bei einer 3.27maligen Verdichtung war ſchon die tropfbare Flüſſigkeit bemerklich, welche das letztere Gas geliefert hat. Zur Anſtellung ſolcher Verſuche eignet ſich vorzüglich der oben (144) beſchriebene Compreſſionsapparat, in den man Röhren einſetzt, welche die zu vergleichenden Gaſe enthalten, und durch Queckſilber geſperrt ſind. Eben ſo kann das Mariotteſche Geſetz bei der Verdünnung eines Gaſes nur ſo lange Anwendung finden, bis die Ausdehnſamkeit desſelben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten iſt, indem von dieſem Punkte an bei einer ferneren Verminderung der drückenden Kraft keine weitere Ausdehnung des Gaſes erfolgt.

185. Die Zunahme der Ausdehnſamkeit der Luft durch Erwärmung beweiſet das Anſchwellen einer mit Luft gefüllten Blaſe über Kohlenfeuer, und manche andere Erſcheinung. Verſuche, die dieſes zum Zwecke hatten, wurden von Lambert, Dalton, Gay-Luſſac, von Dulong und Petit, von Davy und neuerlich von Rudberg mit beſonderer Genauigkeit angeſtellt. Gay-Luſſac bediente ſich dazu einer wohl ausgetrockneten Thermometerröhre, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel verſehen war, deren Kubikinhalt zu jenem der Röhre in einem hinlänglich großen und bekannten Verhältniſſe ſtand. Dieſe wurde mit der zu prüfenden, gut ausgetrockneten Luft zum Theile angefüllt, durch eine kleine, bewegliche Queckſilberſäule geſchloſſen, horizontal in ein Waſſer- oder Queckſilberbad gelegt, dem man verſchiedene Wärmegrade mittheilen konnte, die Größe des Volums der Luft bei jedem Grade gemeſſen, und zugleich der jedesmalige Barometerſtand angemerkt. Die in der Kugel und Röhre eingeſchloſſene Luft treibt hier, wenn ihre Temperatur ſteigt, wegen der dadurch herbeigeführten Vergrößerung ihrer Expanſivkraft, die kleine Queckſilberſäule gegen das offene Ende der Röhre; in dem Maße aber, als dieſe Luft ein größeres Volum erhält, nimmt ihre Expanſivkraft ab, und ſobald dieſe wieder jener der äußeren Luft gleich geworden iſt, bleibt die Queckſilberſäule ſtehen. Bei eintretender Temperaturſverminderung erfolgt das Umgekehrte. Die bei verſchiedenen Barometerſtänden gemeſſenen Luftvolume können

nach dem Mariotte'ſchen Geſetze (184) leicht auf die Größen reducirt werden, welche ſie gehabt hätten, wenn die Beobachtungen ſämmtlich bei einerlei beſtimmtem Drucke der äußern Luft angeſtellt worden wären. Iſt nämlich V ein beobachtetes Luftvolum, B der zu gehörige Barometerſtand, ſo wird das Volum v dieſer Luft bei derſelben Temperatur, aber bei dem Barometerſtande b, durch die Proportion $v:V = B:b$ gegeben. Aus den Rauminhalten v, v′ derſelben Luftmaſſe bei einerlei Druck E und verſchiedenen Temperaturen ergibt ſich das Verhältniß der Expanſivkräfte e, e′, welche dieſe Luft, wenn ſie ſtets dasſelbe Volum V beizubehalten genöthigt wäre, bei erwähnten Temperaturen zeigen würde, denn es folgt aus dem Mariotte'ſchen Geſetze $e:E = v:V$ und $e':E = v':V$, mithin $e:e' = v:v'$. Es ſind alſo die bei einerlei äußerem Drucke und verſchiedenen Temperaturen ſtattfindenden Luftvolume den Expanſivkräften, welche der Luft unter einem unveränderlichen Volum, oder was dasſelbe heißt, bei einerlei Dichte für dieſe Temperaturen zukommen, direct proportionirt. Gay-Luſſac's ſorgfältige Verſuche zeigten, daß ſowohl atmoſphäriſche Luft, wie auch jedes andere Gas oder Gemenge von Gaſen unter conſtantem Drucke, bei dem Uebergange von einer Temperatur zu einer andern, vorausgeſetzt, daß dieſelben über dem Condenſationspunkte jedes Gaſes liegen, eine dem urſprünglichen Volum proportionirte Volumsänderung erleiden, und daß dieſe Volumsänderung bei einerlei Größe des anfänglichen Volums und einerlei Temperaturen für alle Gaſe gleich groß iſt. Ueberdieß fand Gay-Luſſac, daß, wenn die Temperaturen mittelſt des Queckſilberthermometers beſtimmt werden, wenigſtens für Temperaturen, welche nicht über den Siedpunkt hinausgehen, die Aenderung des bei 0° C. ſtattfindenden Volums eines trockenen Gaſes mit der Temperatur in geradem Verhältniſſe ſteht. — Gay-Luſſac gab ſeinen Beobachtungen zu Folge die Ausdehnung trockener Luft unter conſtantem Drucke für den Uebergang von 0° zu 100° C., in Theilen des Volums bei 0° C., gleich $0.375 = \frac{3}{8}$ an, wornach die Volumsänderung der Luft für jeden einzelnen Grad der hunderttheiligen Thermometerſcale 0.00375 oder nahe $\frac{1}{267}$ des Volums bei 0° C. betragen würde; ein ſchon von Lambert erhaltenes Reſultat, dem Dalton, Dulong und Petit, wie auch Davy beiſtimmten. Allein die zahlreichen, mit einander ſehr gut übereinſtimmenden, und wegen der Genauigkeit des Verfahrens ein beſonderes Zutrauen verdienenden Verſuche, welche Rudberg über dieſen Gegenſtand auf zwei verſchiedene Arten angeſtellt hat, indem er theils einen dem oben angegebenen Verfahren Gay-Luſſac's entgegengeſetzten Weg einſchlug, nämlich die Volumsverminderung der von der Siedhitze des Waſſers bis zum Schmelzpunkte des Eiſes abgekühlten Luft beobachtete (Pogg. Ann. 41. 271), theils die Vergrößerung der Expanſivkraft, welche eine trockene Luftmaſſe unter demſelben Volum durch Erwärmung von 0° bis zur Siedhitze des Waſſers zu Theil wird, direct maß (Pogg. Ann. 44. 119), lehrten, daß die Ausdehnung trockener atmoſphäriſcher Luft von 0° bis 100° C. nur 0.364 bis

0.365 ihres Volums bei 0° C. ausmacht, wornach die Volumsänderung derſelben für einen Centeſimalgrad zwiſchen 0.00364 und 0.00365 fällt, mithin nahe gleich $^1/_{274}$ geſetzt werden kann, welches Reſultat als das zuverläßigere nunmehr an die Stelle des älteren, nach oben genannten Gewährsmännern bisher allgemein angenommenen, geſetzt werden muß. Bezeichnen wir letztere Zahl durch α, nennen wir ferner zwei verſchiedene Temperaturen einer Luftmaſſe nach der Centeſimalſcale eines Queckſilberthermometers t, t'; die Expanſivkräfte, welche derſelben dabei unter einer gewiſſen conſtanten Dichte zukommen e, e'; das Volum, welches dieſe Luft bei irgend einem Drucke und der Temperatur 0° C. annehmen würde V, und die Volume derſelben bei dieſem Drucke und bei den oben genannten Temperaturen v, v'; ſo iſt, in ſofern t, t' nicht über 100° C. fallen, nach dem Obigen

$$v = V + \alpha V t = V(1 + \alpha t)$$

$v' = V(1 + \alpha t')$ und $e : e' = v : v'$, mithin $e : e' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t'$. Hat aber die hier betrachtete Luftmaſſe, während ihr die Temperaturen t, t' zukommen, verſchiedene Dichten d, d', und bezeichnen wir die dabei ſtattfindenden Expanſivkräfte wieder durch e, e', ſo beſteht offenbar die Proportion $e : e' = d(1 + \alpha t) : d'(1 + \alpha t')$.

Rudberg's erſtes Verfahren zur Beſtimmung des Werthes von α beſteht in Folgendem: Eine Glaskugel, etwa 120 bis 150 Gramme Queckſilber faſſend und in eine Thermometerröhre auslaufend, welche durch Chlorcalcium wohl getrocknete Luft enthielt, wurde bei bekanntem Barometerſtande der Siedhitze des Waſſers ausgeſetzt, dann die Spitze der Röhre zugeſchmolzen und die Kugel gewogen. Hierauf wurde die Röhre in Queckſilber getaucht, durch Abbrechen der Spitze unter Queckſilber geöffnet, die Kugel mittelſt ſchmelzenden Schnees auf 0° erkaltet, die Spitze der Röhre mit Klebwachs unter Queckſilber geſchloſſen, zugleich der Barometerſtand notirt, dann die Höhe, zu welcher das Queckſilber über das die Röhre umgebende Niveau durch den äußern Luftdruck in die Kugel getrieben war, genau gemeſſen, und die Kugel ſammt dem darin befindlichen Queckſilber, nach Abſonderung des Wachſes, gewogen. Endlich wurde die Kugel ſammt Röhre mit Queckſilber gefüllt, durch Auskochen desſelben von aller Luft befreit, und während die (zu dieſem Behufe vorher umgebogene) Spitze der Röhre in Queckſilber tauchte, auf 0° C. gebracht, ſo daß das ganze Gefäß mit Queckſilber von der Temperatur 0° C. gefüllt war, hierauf dieſes wieder der Siedhitze des Waſſers ausgeſetzt, der Barometerſtand beobachtet, und ſowohl das während der Erhitzung der Kugel ausgefloſſene Queckſilber, wie auch das in der Kugel zurückgebliebene gewogen. Die Temperatur des ſiedenden Waſſers wurde nicht mittelſt eines Thermometers gemeſſen, ſondern (nach oben (24) bereits erwähnten und ſpäter genauer zu erörternden Gründen) aus dem Barometerſtande abgeleitet. Es handelt ſich hier, zur Ausmittelung der in der Frage ſtehenden Ausdehnung der Luft, bloß um die Vergleichung des anfänglichen Volums der heißen Luft mit dem nachherigen der abgekühlten, nachdem beide auf einerlei Druck reducirt worden, was mittelſt der beobachteten Barometerſtände und der Höhe der in das Gefäß eingetretenen Queckſilberſäule, die von dem gleichzeitigen Barometerſtande abzuziehen iſt, leicht geſchehen kann. Durch das Verhältniß des Gewichtes des Queckſilbers, welches aus der bei 0° C. gefüllten Kugel und Röhre während der Erhitzung abfloß, zu dem To-

talgewichte des Queckſilbers, wird das Verhältniß des Ueberſchuſſes der Ausdehnung des Queckſilbers über jene des Glaſes zu dem vergrößerten Volum der geſammten Queckſilbermaſſe, mithin, da die Dilatation des Queckſilbers aus Dulong's und Petit's Verſuchen auf das Genaueſte bekannt iſt, die Dilatation des Glaſes gegeben. Hierdurch und durch das Verhältniß des Volums der Kugel und Röhre bei 0° C. zu jenem welches die Luft nach der Abkühlung einnahm, welches Verhältniß jenem des Totalgewichtes des Queckſilbers zu dem Unterſchiede zwiſchen dieſem und dem Gewichte des in die Kugel während der Abkühlung eingetretenen gleich kommt, hat man alle Daten zur Löſung des Problems. — Das zweite Verfahren gründet ſich auf den Gebrauch des Apparates Fig. 66. A iſt ein Queckſilberbehälter, jenem eines Gefäßbarometers ähnlich, deſſen Volum mittelſt der Schraube B, welche den mit Leder gefütterten Boden des Gefäßes hebt und ſenkt, verengert und erweitert werden kann. In den Deckel des Gefäßes iſt ſowohl das oben offene Glasrohr CD als auch das Rohr E, welches nach oben durch das engere Rohr FG mit dem cylindriſchen Gefäß H in Verbindung ſteht, eingekittet. In letzterem befindet ſich wohl ausgetrocknete Luft, die, wenn der Behälter A und das Rohr CD bis x mit Queckſilber gefüllt iſt, und das Gefäß H auf 0° C. erkältet wird, bis a reicht, während E Queckſilber enthält. Erhitzt man die Luft in H mittelſt ſiedenden Waſſers, wodurch ihre Expanſivkraft wächſt, und das Queckſilber in FG herab und in CD hinauf gedrückt wird, ſo kann man mit Hilfe der Schraube B die Luft auf das frühere Volum zurückdrängen, wobei, wenn das Queckſilber in FG wieder bis a geſtellt worden iſt, es in CD bis y geſtiegen ſeyn wird. Der Höhenunterſchied des Queckſilbers in den Röhren CD und FG wird an einer hiezu angebrachten Scale gemeſſen. Die Capillardepreſſion des Queckſilbers in FG muß vor der Zuſammenſtellung des Apparates beſtimmt worden ſeyn. Heißt dieſelbe c, ferner der Höhenunterſchied des Queckſilberſtandes in CD und EF, während H die Temperatur des ſchmelzenden Schnees hatte, h, und während H den Dämpfen ſiedenden Waſſers ausgeſetzt war, h', ſind endlich b, b' die gleichzeitigen Barometerſtände, ſo iſt das Verhältniß der Expanſivkräfte der Luft in beiden Fällen $= b + h - c : b' + h' - c$. Heißt δ die Volumsdilatation des Glaſes für einen Centeſimalgrad, und iſt τ die Temperatur der Dämpfe des ſiedenden Waſſers; ſo iſt daſſelbe Verhältniß auch

$$= 1 + \delta\tau : 1 + \alpha\tau,$$

woraus $1 + \alpha\tau = \frac{b' + h' - c}{b + h - c}(1 + \delta\tau)$ folgt, mithin α gefunden werden kann.

Wenn es nach dieſer Darſtellung ſcheint, als wirkte die Wärme auf ausdehnſame Körper anders als auf feſte und tropfbare; ſo iſt dieſes doch nicht wirklich der Fall; denn das ſinnliche Zeichen dieſer Wirkung iſt in allen drei Körperformen daſſelbe, nämlich Vergrößerung des Volums, während die unmittelbare Wirkung, wovon jene eine bloße Folge iſt, in der Vermehrung der abſtoßenden Kraft beſteht.

186. Der Umſtand, daß ſich alle Gasarten bei derſelben Wärmezunahme um gleiche Theile ihres Volums ausdehnen, zeigt, daß ihre Ausdehnſamkeit reine Wirkung der Wärme ſey. Ein Thermometer, deſſen Subſtanz ein Gas iſt, wird dieſem gemäß einen der Wärme ganz entſprechenden Gang haben müſſen. Ein ſolches Thermometer, welches Luftthermometer heißt, erhält man, wenn man die in einem Gefäße von der Form eines Queckſilberthermometers befindliche

Luft ſorgfältig trocknet, und dann in die Röhre eine kurze Queckſilberſäule bringt, durch welche eine die Kugel und einen Theil der Röhre ausfüllende Luftmaſſe von der äußern Atmoſphäre abgeſperrt wird, übrigens aber die Röhre offen läßt. Die Queckſilberſäule gibt den Inder ab. Um den Einfluß der Schwere derſelben auf die Anzeigen des Inſtrumentes zu beſeitigen, muß die Röhre ſtets eine horizontale Lage haben. Die Aenderungen der Länge der Queckſilberſäule durch die Wärme kann man als unmerklich betrachten. Da das Volum der abgeſperrten Luft nicht bloß von der Temperatur derſelben, ſondern auch von dem äußeren Luftdrucke abhängt, ſo muß die Röhre mit einer Volumſcale verſehen, und bei jeder Beobachtung der Barometerſtand mit demjenigen verglichen werden, auf den ſich die Beſtimmung des Eis- und Siedpunktes bezieht. Die Herſtellung der Volumsſcale wird ſehr erleichtert, wenn die Röhre wohl calibrirt iſt. Soll das Inſtrument zur Angabe ſehr verſchiedener Temperaturen dienen, ſo muß auch auf die Dilatation des Glaſes geſehen werden. Man kann den Eispunkt mit 0 bezeichnen, und zwiſchen ihm und dem Siedpunkte 100 Grade zählen, oder beſſer die Scale ſo einrichten, daß die den einzelnen Temperatursgraden beigeſetzten Zahlen ſich verhalten wie die Expanſivkräfte, welche der Luft unter conſtanter Dichte bei dieſen Temperaturen zukommen, zu welchem Ende man entweder den Eispunkt mit 1000 zu bezeichnen und bis zu dem Siedpunkte 364 Grade zu zählen hat, ſo daß dem letzteren die Zahl 1364 entſpricht, oder auch den Eispunkt mit 274 und den Siedpunkt mit 374 notiren mag, wobei der Fundamentalabſtand 100 Grade enthält. Im letzteren Falle beruht die Umwandlung der Angaben dieſes Thermometers in jene der gewöhnlichen Centeſimalſcale, und umgekehrt, auf der bloßen Subtraction und Addition der Zahl 274; im erſteren hingegen hat man, wenn L eine Temperatursangabe nach dem Luftthermometer und C die gleichbedeutende nach der gewöhnlichen hunderttheiligen Scale iſt,

$$L = 1000 + 3.64\,C \text{ und } C = \frac{L - 1000}{3.64}.$$

Der Einfluß des atmoſphäriſchen Druckes auf das Luftthermometer läßt ſich beſeitigen, wenn man die in dem Queckſilbergefäße eines Barometers enthaltene Luft von der äußeren, nachdem man ſie wohl getrocknet hat, durch Zuſchmelzen des Gefäßes abſperrt. Bei dem Gebrauche des Inſtrumentes, deſſen Scale man auf die ſo eben erklärte Weiſe einrichtet, hat man jedoch darauf zu ſehen, daß die Röhre eine verticale Lage habe, auch darf hier die Ausdehnung des Queckſilbers durch die Wärme nicht unbeachtet bleiben; endlich können die Aenderungen des Volums der abgeſperrten Luft bei verſchiedenem Stande des Queckſilbers in der Röhre nur in ſoferne außer Acht gelaſſen werden, als der Durchmeſſer der Queckſilberfläche im Gefäße jenen der Röhre viele Male übertrifft. Daß Rudberg's in 185 beſchriebener Apparat auch als Luftthermometer verwendet werden kann, fällt in die Augen.

187. Aus dem Vorhergehenden iſt erſichtlich, daß ein Lufther-

mometer als Regulator für jedes andere Thermometer anzuſehen ſey. Das Queckſilberthermometer ſtimmt mit dieſem innerhalb des Fundamentalabſtandes vollkommen überein, bei einem Stande des Luftthermometers, welcher — 36° des Queckſilberthermometers entſpricht, zeigte ein ſolches Inſtrument nach Dulong's und Petit's Verſuchen — 36°. 11, aber bei Temperaturen, die weit über 100° C. liegen, eilt es dem Luftthermometer viel voraus. Die genannten Phyſiker fanden, daß ein Queckſilberthermometer 360° zeigte, als es dem Stande des Luftthermometers gemäß hätte 350° zeigen ſollen. Demnach iſt das Queckſilberthermometer von etwa — 36° bis 100° C. ein vollkommener Temperaturmeſſer, unter und über dieſer Temperatur ſoll man ſich aber des Luftthermometers bedienen, außer man will lieber den ſcheinbaren Thermometerſtand mittelſt einer Correction auf den wahren reduciren. (Auguſt in Pogg. Ann. 13. 119.)

188. Das vorhin beſchriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Dichte der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Es hat nämlich die darin eingeſchloſſene atmoſphäriſche Luft einerlei Expanſivkraft mit der äußern; haben nun beide einerlei Temperatur, ſo haben ſie auch einerlei Dichte. Verſieht man daher dieſes Inſtrument mit einer Scale, der das Volum der Luft bei 0° C. und 0.76 Met. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; ſo gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 zum Zähler und das Volum der Luft, wie es das Inſtrument angibt, zum Nenner hat, die geſuchte Dichte der Luft an, in ſofern man die Dichte derſelben bei 0° C. und 0.76 Met. Druck als Einheit betrachtet. Man kann zur Erſparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale ſtatt mit der Volumzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen, und dann die Dichte unmittelbar ableſen.

189. Kleine Aenderungen der Expanſivkraft der Luft zeigt Wollaſton's Differenzialbarometer an. Dieſes iſt in Fig. 67 abgebildet, und beſteht aus einem Käſtchen A, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt wird, deren eines offen iſt, und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geſchloſſen iſt und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieſes Käſtchen iſt eine zweiſchenkelige Glasröhre B ſo eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geſchloſſenen Fache in Verbindung ſteht. Beide Schenkel enthalten eine 2 — 3 Zoll lange Waſſerſäule und über derſelben eine Oehlſäule, die beiderſeits bis ins Gefäß reicht, und den Boden desſelben noch 1/2 Z. hoch deckt. Iſt die Waſſerſäule in beiden Schenkeln und folglich auch das Niveau des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes gleich hoch, ſo iſt das Inſtrument adjuſtirt. Bei Gebrauche wird die Röhre der geſchloſſenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Aenderung der Expanſivkraft vor ſich gehen ſoll, und die Bewegung der Waſſerſäule beobachtet. Dort, wo die Expanſivkraft kleiner wird, ſteigt die Waſſerſäule und es verkürzet ſich die Oehlſäule; die Differenz zwiſchen dem Drucke einer Waſſer- und Oehlſäule, deren jede den ver-

ticalen Abſtand der Trennungsflächen dieſer Flüſſigkeiten in beiden Schenkeln zur Höhe hat, entſpricht dieſer Abnahme, in ſoferne man nämlich die Aenderung des Niveaus des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes, wegen der Größe ſeines Durchmeſſers im Vergleiche mit der Weite der Röhre als unmerklich betrachten darf. Nähme man ſtatt Oehl und Waſſer zwei andere Flüſſigkeiten, deren Dichten einander noch näher ſtänden, ſo würde das Inſtrument noch empfindlicher. (Zeitſch. 6. 264.)

190. Dem Vorhergehenden gemäß ſtehen uns zur Aenderung der Expanſivkraft eines Gaſes zwei Mittel zu Gebote, nämlich Aenderung der Temperatur oder der Dichte. Wie erſteres Mittel anzuwenden ſey, iſt für ſich klar; zur Anwendung des letzteren braucht man meiſtens ein beſonderes, in vielen anderen Beziehungen für den Phyſiker wichtiges, von Otto Guerike, einem Deutſchen, im Jahre 1650 erfundenes Inſtrument, die Luftpumpe. Die weſentlichen Beſtandtheile derſelben ſind: 1) Ein hohler, inwendig ſehr glatter Cylinder A (Fig. 68) von Glas oder Metall (der Stiefel), in deſſen Höhlung 2) ein Kolben B luftdicht paſſet, und mittelſt einer Vorrichtung auf und ab bewegt werden kann. An dem Boden iſt eine kleine Röhre angeſetzt, an deren Ende ſich eine wohl abgeſchliffene Platte (der Teller) befindet, worauf ein Recipient luftdicht zu ſtehen kommt. Die kleine Röhre iſt 3) mit einem Hahn C verſehen, mittelſt welchem, nach Verſchiedenheit ſeiner Stellung, vom Cylinder in den Recipienten oder nach außen Luft gelangen kann. Statt des Hahnes hat man nicht ſelten am Boden des Stiefels und an der Seite desſelben ein feines Ventil, wovon ſich das erſte von außen nach innen, das zweite von innen nach außen öffnet. Man hat Luftpumpen mit einem und mit zwei Stiefeln; dieſe ſtehen meiſtens vertical, ſelten ſchief; der Hahn wird in manchem Inſtrumente mit dem Kolben zugleich in Bewegung geſetzt, bei anderen iſt die Bewegung des Hahnes ganz den Händen des Experimentators überlaſſen.

191. Mittelſt der Luftpumpe kann man die in einem Gefäße enthaltene Luft verdünnen oder verdichten. Das dabei nöthige Verfahren gründet ſich auf die Ausdehnſamkeit der Luft. Das Verdünnen geſchieht auf folgende Art: Man ſetzt den Recipienten mit der zu verdünnenden Luft luftdicht auf den Teller der Luftpumpe, richtet den Hahn ſo, daß vom Recipienten Luft in den Cylinder gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf ſtellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwiſchen der äußeren Luft und der inneren im Cylinder her, drückt den Kolben hinab, und wiederholt das ganze Verfahren, ſo oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atm. Luft in einem Gefäße verdichtet werden, ſo befeſtigt man letzteres ſtark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn ſo, daß Luft von außen in den Cylinder dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verſchaffen, drückt den Kolben hinab, und wiederholt

dieſes Verfahren, ſo oft man es für nöthig hält, oder es die Feſtigkeit des Recipienten erlaubt.

192. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Luftpumpe, die ſo eingerichtet iſt, wie die vorhin beſchriebene Hahnluftpumpe, ſetzt der zwiſchen dem Boden des Cylinders und dem Hahne befindliche Raum, den man ſchädlichen Raum nennt, eine Grenze. Da dieſer Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann, ſo wird die Luft nur ſo weit verdünnt werden können, bis ein Volum derſelben, das den ganzen Raum ausfüllt, in den ſchädlichen Raum zuſammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in dieſem Falle beim Hineinſtoßen des Kolbens keine Luft aus dem Cylinder mehr getrieben werden kann. Auch die Verdichtung kann nur ſo weit gebracht werden, bis die im Cylinder enthaltene Maſſe von der Dichte der äußeren Luft, durch Zuſammendrücken in den ſchädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeſchloſſen iſt. — Ventilluftpumpen haben zwar keinen ſchädlichen Raum, aber dagegen den Nachtheil, daß ſie nicht zum Verdichten und Verdünnen zugleich gebraucht werden können, und daß man, bei weit fortgeſchrittener Verdünnung oder Verdichtung, der Bewegung des Ventils nachhelfen muß, weil ſelbe die Luft nicht mehr allein bewerkſtelligen kann. Durch Bemühungen der Künſtler, Luftpumpen ohne ſchädlichen Raum zu verfertigen, wird dem Uebel am beſten abgeholfen.

193. Zum Verdichten der Luft bedient man ſich gerne einer ſogenannten Compreſſionspumpe. Sie beſteht aus einem hohlen Cylinder (Fig. 69), der in B mit einem Schraubengewinde verſehen iſt, um ihn an den Recipienten anſchrauben zu können. Ober dieſem hat er ein Ventil, das ſich von innen nach außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Oeffnung C. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befeſtiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Oeffnung C, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieſes Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künſtlich erzeugte Luftart verdichtet werden, ſo braucht man nur an C eine mit dieſer Luft gefüllte Blaſe zu befeſtigen, und dann wie vorhin zu verfahren.

194. Wie weit die Verdünnung der Luft mittelſt der Luftpumpe gediehen ſey, erkennt man durch die Barometerprobe, ein kurzes Barometer, welches man unter den Recipienten bringt, wenn es nicht vom Künſtler mit der Luftpumpe in Verbindung gebracht iſt, wohl auch durch Rechnung.

Die Barometerprobe iſt meiſtens ein kurzes Heberbarometer, wenn es ſich um die Prüfung der Verdünnung der Luft handelt Man beobachtet die Höhe der Queckſilberſäule dieſes Barometers, und die eines anderen, welches mit der äußeren Atmoſphäre im Gleichgewichte ſteht. Beträgt jene a, dieſe b, ſo iſt die Dichte der Luft im Recipienten $\frac{a}{b}$, wenn die der äußeren = 1 geſetzt wird, und innerhalb des Recipienten keine Dünſte entſtanden ſind. Dasſelbe Barometer kann auch dazu

dienen, den Grad der Verdichtung zu erkennen, nur muß der geſchloſſene Schenkel desſelben etwas Luft enthalten. Mißt man das Volum derſelben vor und nach der Verdichtung, und reducirt letzteres nach dem Mariotte'ſchen Geſetze auf den ganzen Druck der Luft, ſo gibt der Quotient des Verhältniſſes beider Volume die geſuchte Verdichtung an. — Durch Rechnung findet man die Verdünnung und Verdichtung der Luft, wenn der Rauminhalt des Cylinders und des Recipienten ſammt der Anzahl der gemachten Kolbenzüge gegeben iſt. Heißt das Volum der Höhlung des Cylinders C, das des Recipienten R, die Dichte der äußeren Luft d, die im Recipienten nach einem Zuge d_1, nach zwei Zügen d_2 u. ſ. w., nach n Zügen d_n; ſo hat man für die Operation des Verdünnens, weil die Luft im Recipienten, deren Dichte vor dem nten Kolbenzuge d_{n-1}, deren Maſſe daher (ſ. die Formel (2) in 33) $R d_{n-1}$ iſt, nach dem n^{ten} Zuge das Volum $C+R$ einnimmt, deren Dichte $d_n = \frac{R d_{n-1}}{C+R}$, oder wenn man zur Abkürzung $\frac{R}{C+R} = Q$ ſetzt, $d_n = Q d_{n-1}$. Nimmt man hier nach und nach $n = 1, 2, 3, \ldots$ u. ſ. w., ſo findet man $d_1 = Q d$, $d_2 = Q d_1 = Q^2 d$, $d_3 = Q d_2 = Q^3 d$ u. ſ. w., und allgemein $d_n = Q^n d = \frac{R^n}{(C+R)^n} d$. Für die Operation des Verdichtens ergibt ſich, weil durch n Kolbenzüge zu der den Recipienten anfänglich erfüllenden Luftmaſſe $R d$ noch nmal die im Cylinder Raum habende $C d$ hinzukommt, mithin der Recipient R die Luftmaſſe $n C d + R d = (n C + R) d$ faßt, die Dichte derſelben

$$d_n = \frac{nC + R}{R} d.$$

Hier wurde der ſchädliche Raum außer Acht gelaſſen. Will man auf denſelben Rückſicht nehmen, ſo iſt, wenn man deſſen Volum durch S bezeichnet, die Luftmenge, welche bei dem Verdünnen nach dem n^{ten} Zuge den Raum $C + R + S$ ausfüllt, offenbar $= S d + R d_{n-1}$, mithin deren Dichte $d_n = \frac{S d + R d_{n-1}}{C + R + S}$, oder wenn man zur Abkürzung

$$\frac{R}{C+R+S} = Q \text{ und } \frac{S}{C+R+S} = U \text{ ſetzt,}$$

$$d_n = U d + Q d_{n-1}. \text{ Für } Q = 1, 2, 3, \ldots$$

wird

$$d_1 = (U + Q) d,$$
$$d_2 = U d + Q d_1 = U d (1 + Q) + Q^2 d,$$
$$d_3 = U d + Q d_2 = U d (1 + Q + Q^2) + Q^3 d \text{ u. ſ. w.}$$

und allgemein

$$d_n = U d (1 + Q + Q^2 + \ldots + Q^{n-1}) + Q^n d$$
$$= \frac{U d (1 - Q^n)}{1 - Q} + Q^n d$$
$$= \frac{U d}{1 - Q} + \left(1 - \frac{U}{1 - Q}\right) Q^n d, \text{ d. h.}$$
$$d_n = \left(\frac{S}{C + S} + \frac{C}{C + S} Q^n\right) d.$$

Setzt man hier $S = 0$, ſo ergibt ſich der oben gefundene Ausdruck. Für $n = \infty$ wird $d_n = \frac{S}{C + S} d$. Zu der allgemeinen Formel gelangt man ſogleich, wenn man bedenkt, daß die Luft im ſchädlichen Raume in den Cylinder ausgedehnt, die Dichte $\frac{S}{C + S} d$ erhält, daher ſie dem

Theile $\frac{RSd}{C+S}$ der Luft im Recipienten das Gleichgewicht hält, und der übrige Theil $Rd - \frac{RSd}{C+S}$ oder $\frac{RCd}{C+S}$, dem in ſofern er den Recipienten ausfüllt, die Dichte $\frac{Cd}{C+S}$ zukommt, ſo verdünnt wird, als wäre kein ſchädlicher Raum vorhanden, und als hätte der Cylinder das Volum $C+S$. — Wie man bei der Berechnung des Grades der Verdichtung der Luft mit Rückſicht auf den ſchädlichen Raum zu verfahren habe, bedarf nun keiner weiteren Erklärung. Ueber Luftpumpen handelt ſehr ausführlich Gehler's Wörterbuch, neu bearbeitet. Bd. 6. Abth. 1.

195. Mittelſt der Luftpumpe läßt ſich die Schwere und Ausdehnſamkeit der Luftarten nebſt dem Verhältniſſe, in welchem beide Eigenſchaften zu einander ſtehen, recht deutlich zeigen: 1) Wenn man ein, mit was immer für einer Luftart gefülltes, gläſernes Gefäß abwägt, hernach die Luft verdünnet und das Gefäß wieder auf die Wage bringt, ſo findet man es leichter. 2) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft feſt auf dem Teller. 3) Iſt er oben mit einer Blaſe verbunden, ſo wird dieſelbe eingedrückt. 4) Iſt er oben mit einem hölzernen Becher verſehen, welcher Queckſilber enthält, ſo wird dieſes durch das Holz gedrückt. 5) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgiſche Halbkugeln) können nur mit einer bedeutenden Kraft getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Das Queckſilber in einem Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 7) Eine ſchlaffe, zugebundene Blaſe ſchwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt, und hebt ein bedeutendes Gewicht. 8) Der Heronsball ſpringt in verdünnter Luft. 9) Ein ſchwaches, geſchloſſenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerſpringt daſelbſt. 10) Viele Flüſſigkeiten und auch feſte Körper geben eine Menge Luft von ſich. 11) Ganz ungleichartige Körper, z. B. eine zarte Feder, ein Stück Papier oder Metall fallen gleich ſchnell.

196. Wie die Erfahrung lehrt, haben Gaſe von verſchiedener materiellen Beſchaffenheit bei einerlei Temperatur und unter einerlei äußerem Drucke, d. h. bei einerlei Expanſivkraft, verſchiedene Dichten. So z. B. iſt die Dichte des Waſſerſtoffgaſes unter den genannten Umſtänden 14mal geringer, als die Dichte der atmoſphäriſchen Luft. Werden demnach die Gaſe auf einerlei Temperatur und Dichte gebracht, ſo kommen denſelben verſchiedene Expanſivkräfte zu, und zwar zeigt ein Gas eine um ſo größere Expanſivkraft, je geringer ſeine Dichte in Vergleichung mit der eines andern bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke erſcheint. Man ſchreibt daher jedem Gaſe eine beſondere **ſpecifiſche Expanſivkraft** zu, und ſetzt dieſelbe der Expanſivkraft proportional, welche das Gas bei einer feſtgeſetzten Temperatur und Dichte beſitzt, oder was daſſelbe heißt, man ſieht das verkehrte Verhältniß der Dichten zweier Gaſe bei gleichen Temperaturen und gleichem Drucke als das Verhältniß ihrer ſpecifiſchen Expanſivkräfte an.

Demnach iſt die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerſtoffgaſes 14mal größer als jene der atmoſphäriſchen Luft. Die abſolute Expanſivkraft iſt die Expanſivkraft eines Gaſes, ohne Beziehung auf eine beſtimmte Dichte und Temperatur. Nennt man die Dichten zweier Gaſe d, d′, ihre Temperaturen nach dem Centeſimalthermometer t, t′, nach dem Luftthermometer mit der in 186 erklärten Scale T, T′, die ſpecifiſchen Expanſivkräfte der Gaſe, nach einer beliebigen Einheit gemeſſen, e, e′, und ihre abſoluten Expanſivkräfte E, E′, ſo hat man offenbar $E : E' = d\,(1 + \alpha t)\; e : d'\,(1 + \alpha t')\; e'$, wobei α die oben (185) angegebene Bedeutung hat, oder wegen $1 + \alpha t : 1 + \alpha t' = T : T'$,

$$E : E' = dTe : d'T'e'.$$

Daß die Verſchiedenheit der ſpecifiſchen Expanſivkräfte der Gaſe auf eine Verſchiedenheit der abſtoßenden Kräfte hindeutet, welche die Theilchen derſelben gegen einander ausüben, iſt für ſich klar.

B. Specifiſches Gewicht der Gaſe.

197. Um das ſpecifiſche Gewicht der atm. Luft zu finden, nimmt man einen Ballon, der wenigſtens 250 — 300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verſchloſſen und an eine gute Luftpumpe angeſchraubt werden kann. Nachdem man in demſelben die Luft ſo ſtark als möglich verdünnt hat, ſchließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empfindliche Wage, bemerkt ſein Gewicht = P, öffnet hierauf den Hahn und beſtimmt ſein Gewicht = P′ von Neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt wurde; ſo iſt P′ — P das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man nun das Volum V des Ballons; ſo iſt $\frac{P' - P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht der atm. Luft. Auf dieſe Weiſe überzeugte man ſich, daß ein Kubikfuß atm. Luft bei 0° C. und einem Luftdrucke von 0.76 Met. 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0.326 Gr. wäge. Es iſt daher die atm. Luft bei 0° C. und 0.76 Met. 770mal leichter als Waſſer. — Läßt man in den Ballon ſo, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, ſtatt atm. Luft, irgend eine andere Luftart eindringen, und findet wieder das Gewicht = Q; ſo iſt $\frac{Q - P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht des Gaſes, welches ſich im Ballon befindet.

198. Alle dieſe Verſuche ſetzen voraus, daß die Luftarten ganz rein ſind, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, ſo wie ſein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelſt der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden kann, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Waſſerdünſten, die auf ihr ſpecifiſches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben, dieſes ändert ſich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Temperatur, letztere hat ſogar auf die Capacität des Gefäßes und auf ſein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar ſehr gering iſt, und daher manchmal überſehen werden kann, bei ſehr genauen Verſuchen aber

doch in Anſchlag gebracht werden muß. Aus dieſen Gründen wählt man zu Verſuchen dieſer Art nur ſolche Luft, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer beſtimmten Temperatur und bei einem beſtimmten Luftdrucke, oder reducirt die unter anderen Umſtänden erhaltenen Reſultate auf die Normaltemperatur 0° C. und auf den Normaldruck 0.76 Met.

Die Reduction wegen Aenderung des ſpecifiſchen Gewichtes durch die Wärme und den Luftdruck, als die wichtigſte, läßt ſich leicht veranſtalten. Iſt s das ſpecifiſche Gewicht, welches man bei der Temperatur t und dem Luftdrucke b gefunden hat, s' das auf den normalen Stand der Wärme und Normal-Barometerſtand B, in der Regel 0.76 Meter = 28.851 W. Zoll = 28 Z. 10.22 Lin. reducirte; ſo hat man (185)

$$s : s' = \frac{b}{B(1+\alpha t)} : 1; \text{ daher } s' = \frac{s(1+\alpha t)B}{b}.$$

199. Die Mittel, wodurch man das ſpecifiſche Gewicht der Gaſe kennen lernt, führen natürlich auch zur Kenntniß ihrer Dichte. Bei der Bezeichnung dieſer Dichte pflegt man zur Vermeidung gar zu langer numeriſchen Ausdrücke die der atm. Luft gleich 1 zu ſetzen. Hieraus folgt, für die Dichte d irgend eines Gaſes, deſſen ſpecifiſches Gewicht vorher durch $\frac{Q-P}{V}$ ausgedrückt wurde, gemäß der Proportion

$$d : 1 = Q-P : P'-P,$$

$$d = \frac{Q-P}{P'-P}.$$

200. Man kann die Dichte eines Gaſes auch unmittelbar aus ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung berechnen, wenn die Dichte der Beſtandtheile und das Verhältniß, in welchem ſie ſich zu dem gegebenen Gaſe verbinden, ſo wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumveränderung gegeben ſind. Geſetzt es beſtehe ein Gas aus a Raumtheilen eines Stoffes, deſſen Dichte d iſt, und aus a' Raumtheilen eines ſolchen, deſſen Dichte d' heißt, mithin im Ganzen aus a + a' Raumtheilen. Da iſt nun ad die Maſſe des einen, a'd' die Maſſe des anderen Beſtandtheiles, ad + a'd' die Maſſe des Ganzen und $\frac{ad + a'd'}{a + a'}$ die Maſſe desſelben unter dem Volum = 1, alſo die Dichte des Gaſes, falls bei der Verbindung der beiden Beſtandtheile keine Ausdehnung oder Zuſammenziehung erfolgt iſt. Findet aber die eine oder die andere Statt, ſo ändert ſich dadurch die Dichte des Gaſes. Geſetzt es ſey bei der chemiſchen Verbindung der Beſtandtheile das Volum a + a' in A übergegangen, und man bezeichnet die Dichte des Gaſes mit D; ſo iſt

$$D = \frac{ad + a'd'}{A}.$$

Folgende Beiſpiele mögen zur Erläuterung des Gebrauches dieſer Formel dienen: 2 Volume Stickſtoffoxydgas (Salpetergas) enthalten 1 Volum Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas von gleicher Temperatur und Spannung. Die Dichte des Stickgaſes iſt 0.976; die Dichte des Sauerſtoffgaſes 1.1026, wenn die Dichte der atmoſphäriſchen Luft als Einheit angenommen wird. Es iſt alſo hier

$a = 1,\ d = 0.976,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2;$
mithin die Dichte des Stickſtoffoxydgaſes

$$D = \frac{ad + a'd'}{A} = 2.0786 : 2 = 1.0393.$$

2 Volume Stickſtoffoxydulgas beſtehen aus 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas. In dieſem Falle iſt
$a = 2,\ d = 0.976,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2;$
mithin die Dichte des Stickſtoffoxydulgaſes
$D = 3.0546 : 2 = 1.5273.$
2 Volume Ammoniakgas werden durch Vereinigung von 3 Vol. Waſſerſtoffgas (deſſen Dichte 0.0688 iſt) und 1 Vol. Stickgas gebildet. Setzt man
$a = 3,\ d = 0.0688,$
$a' = 1,\ d' = 0.976;$
ſo folgt hieraus wegen $A = 2$ die Dichte des Ammoniakgaſes
$D = 1.1824 : 2 = 0.5912.$
Alle dieſe Reſultate ſtimmen mit den durch directe Wägungen gefundenen gut überein. Auch wenn das Product der Verbindung zweier Gaſe bei der gewöhnlichen Lufttemperatur nicht gasförmig bleibt, findet obige Formel Anwendung. Nimmt man z. B. an, daß durch Verbrennung von 2 Vol. Waſſerſtoffgas in 1 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Waſſerdunſt gebildet werden, ſo ergibt ſich hiedurch, wegen
$a = 2,\ d = 0.0688,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2,$
die Dichte des Waſſerdunſtes $D = 1.2402 : 2 = 0.6201$. Man kann auf dieſem Wege umgekehrt aus den Dichten eines zuſammengeſetzten Gaſes und eines der Beſtandtheile die Dichte des anderen Beſtandtheiles berechnen. Man hat dieſes Verfahren ſogar auf den Fall ausgedehnt, wenn der zweite Beſtandtheil des zuſammengeſetzten Gaſes ein Stoff iſt, der für ſich allein nicht luftförmig dargeſtellt werden kann; z. B. Kohlenſtoff, und daraus auf die Dichte geſchloſſen, welche ein ſolcher Stoff haben würde, wenn er in Gasform erſchiene. Zu dieſem Behufe gibt obige Formel

$$d = \frac{AD - ad}{a}.$$

Z. B. Unter der Vorausſetzung, daß 2 Vol. Kohlenoxydgas aus 1 Vol. Sauerſtoffgas und 1 Vol. Kohlengas zuſammengeſetzt ſind, findet man mit Hilfe der Dichte des Kohlenoxydgaſes $D = 0.9727$, und jener des Sauerſtoffgaſes $d = 1.1026$, wegen $A = 2$, $a = 1$, $a' = 1$, die Dichte des Kohlengaſes $d' = 1.9454 - 1.1026 = 0.8428$. Dasſelbe Reſultat erhält man, wenn man annimmt, daß 1 Vol. Kohlengas mit 2 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Kohlenſäuregas, deſſen Dichte $= 1.524$ iſt, liefert.

201. Da ſich gasförmige Stoffe in einfachen Volumsverhältniſſen chemiſch verbinden, ſo ſtehen die Miſchungsgewichte der Stoffe (45) mit den Dichten derſelben, wenn ſie in Gasform erſcheinen, in einem nothwendigen Zuſammenhange. In den meiſten Fällen kann man die Dichten der Gaſe einfacher Stoffe ihren Miſchungsgewichten proportional ſetzen; doch iſt dieſe Vorausſetzung, wie aus Reſultaten erhellet, zu welchen Dumas und Mitſcherlich geführt wurden, nicht allgemein zuläßig; denn man fand das Schwefelgas 3mal, das Phosphorgas 2mal dichter als nach erwähnter Annahme. Doch dürfte es erlaubt ſeyn anzunehmen, daß die Dichte eines Gaſes, ſtets ein Viel-

faches oder ein aliquoter Theil des Werthes ſey, den man dafür erhält, wenn man zwiſchen den Dichten und Miſchungsgewichten der Stoffe einerlei Verhältniß beſtehen läßt. Hiernach kann man aus dem Atomgewichte eines Stoffes die Dichte ſeines Gaſes und umgekehrt ableiten.

Da ſich 2 Volum Waſſerſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas zu Waſſer verbinden, ſo kann man annehmen, daß 1 Atom Waſſer aus 2 Atomen Waſſerſtoff und 1 Atom Sauerſtoff beſtehe, zumal, da man noch eine Verbindungsſtufe des Waſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe kennt (das Waſſerſtoffſuperoxyd), in welche nur die Hälfte der Gewichtsmenge des Waſſerſtoffes eingeht, die mit Sauerſtoff Waſſer bildet. Bezeichnet man die Atomgewichte des Sauerſtoffes und Waſſerſtoffes mit O und H, und die Dichten des Sauerſtoff- und Waſſerſtoffgaſes mit d und d', ſo kann man ſetzen $O : H = d : d'$. Nimmt das Atomgewicht des Sauerſtoffes als Einheit an, ſo hat man $O = 1$, und daher $H = \frac{d'}{d}$. Da $d' = 0.0688$ und $d = 1.1026$ iſt, ſo erhält man auf dieſe Weiſe $H = 0.062398$. Setzt man aber, wie in der Tabelle S. 29, $O = 100$, ſo hat man $H = \frac{100d'}{d}$, mithin $H = 6.2398$. Eben ſo findet man für $O = 100$ das Miſchungsgewicht

des Stickſtoffes $N = \frac{97.6}{1.1026} = 88.518$,

des Kohlenſtoffes $C = \frac{84.28}{1,1026} = 76.438$ u. ſ. w.

Die Dichten der Gaſe ſolcher Stoffe, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und Expanſivkraft der Luft tropfbar oder feſt erſcheinen, aber durch Erwärmung Dünſte liefern, laſſen ſich durch wirkliche Wägung (nach ſpäter zu erklärenden Methoden) mit einer, wenigſtens zur Entſcheidung der Frage, ob man dieſe Dichten den Miſchungsgewichten der Stoffe proportional ſetzen dürfe, hinreichenden Genauigkeit beſtimmen. Auf dieſe Weiſe hat man z. B. die Dichte des Schwefelgaſes $= 6.654$ gefunden. Das Atomgewicht des Schwefels iſt $S = 201.16$, wenn $O = 100$ geſetzt wird. Wäre, wenn D die Dichte des Schwefelgaſes bedeutet, $D : 1,1026 = S : 100$, ſo ergäbe ſich

$$D = 2,0116 \times 1.1026 = 2.218,$$

welches Reſultat nur der dritte Theil des wirklichen Werthes dieſer Dichte iſt. Wollte man aber, um die Gleichheit der Verhältniſſe der Dichten und Miſchungsgewichte gasförmiger Stoffe aufrecht zu erhalten, das Atomgewicht des Schwefels dreimal höher anſetzen, als es bisher angenommen wurde, und auf ähnliche Weiſe auch die Atomgewichte der übrigen Stoffe verändern, deren Gaſe eine obiger Vorausſetzung widerſprechende Dichte zeigen, ſo ginge die Einfachheit der chemiſchen Formeln verloren. — Uebrigens iſt leicht einzuſehen, wie unter ſolchen Umſtänden die auf Miſchungsgewichte ſich beziehenden Formeln für zuſammengeſetzte Stoffe, nach Rauminhalten zu überſetzen ſind. Z. B. die ſchwefelige Säure wird durch Verbindung von 1 At. Schwefel mit 2 At. Sauerſtoff gebildet; demnach verbinden ſich 1 Vol. Schwefelgas mit 6 Vol. Sauerſtoffgas zu dieſer Säure. Eben ſo geben 1 Vol. Schwefelgas und 6 Vol. Waſſerſtoffgas Schwefelwaſſerſtoffſäure. Aus der Thatſache, daß 2 Vol. Schwefelwaſſerſtoffſäuregas in 3 Vol. Sauerſtoffgas ohne Rückſtand zu ſchwefeliger Säure und Waſſer verbrennen, folgt, daß in beiden vorgenannten Fällen die 7 Gasvolume ſich zu 6 Vol. verdichten.

202. Da die Dichten der Gaſe ſich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, ſo ſtehen ſie im verkehrten Verhältniſſe der ſpecifiſchen Expanſivkräfte (196), und man kann letztere leicht aus erſteren finden, wenn man die ſpecifiſche Expanſivkraft irgend eines Gaſes zur Einheit wählt. In der Regel ſetzt man die ſpecifiſche Expanſivkraft der atmoſphäriſchen Luft = 1. Da nun auch die Dichte derſelben = 1 iſt, ſo hat man, wenn e und d die ſpecifiſche Expanſivkraft und Dichte eines anderen Gaſes vorſtellen,

$$e : 1 = 1 : d; \text{ mithin } e = \frac{1}{d}.$$

Folgende Tabelle gibt die Werthe von d und e für einige Gaſe, wobei jedoch in Betreff der Dichten der Gaſe den Reſultaten einer auf verläßliche Principien gegründeten Rechnung vor den Ergebniſſen directer Wägungen, bei welchen die Vermeidung beträchtlicher Fehler in vielen Fällen äußerſt ſchwierig iſt, der Vorzug eingeräumt wurde. Die Dichten der leichter condenſirbaren Gaſe, als des ſchwefligſauren, des Cyangaſes, erſcheinen bei ſtärkerem Drucke größer, als ſelbe in der Tabelle angegeben wurden, weil bei ſtärkerem Drucke dieſe Gaſe aufhören dem Mariotte'ſchen Geſetze zu entſprechen.

Gaſe.	Dichte.	Specifiſche Expanſivkraft.
Atmoſphäriſche Luft	1.0000	1.0000
Sauerſtoffgas	1.1026	0.9069
Stickgas	0.9760	1.0246
Waſſerſtoffgas	0.0688	14.535
Chlorgas	2.440	0.4098
Stickſtoffoxydulgas	1.5273	0.6547
Stickſtoffoxydgas	1.0393	0.9622
Ammoniakgas	0.5912	1.6915
Cyangas	1.8188	0.5498
Grubengas	0.559	1.7889
Oehlbildendes Gas	0.9804	1.0200
Kohlenoxydgas	0.9727	1.0281
Chlorkohlenoxydgas	3.4127	0.2930
Schwefligſaures Gas	2.2116	0.4522
Kohlenſäuregas	1.5240	0.6562
Salzſäuregas	1.2544	0.7972
Schwefelwaſſerſtoffſäuregas	1.1778	0.8490

C. Gleichgewicht der Gaſe.

203. Alle jene Geſetze des Gleichgewichtes, welche für Flüſſigkeiten überhaupt aufgeſtellt wurden (140 u. f.), ſind natürlich unbeſchränkt auf Gaſe anwendbar, weil dieſe auch zu den Flüſſigkeiten gehören; von denjenigen Geſetzen hingegen, die für tropfbare Flüſſigkeiten erwieſen wurden, laſſen ſich nur jene auf Gaſe beziehen, die auf der Schwere beruhen und von der Ausdehnſamkeit unabhängig ſind.

204. Man denke ſich ein Gas in einem Gefäße, und unterſuche, Obigem gemäß, die Bedingungen ſeines Gleichgewichtes, und zwar zuerſt für die oberſten Theile der Luftmaſſe. Jedes dieſer Theilchen ſucht vermöge ſeiner Schwere zu ſinken und vermöge ſeiner Ausdehnſamkeit ſich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Beſtreben, ſich ſeitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu ſinken, muß der Widerſtand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Beſtreben ſich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnſamkeit der Gaſe ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum laſſen ſich auch Gaſe nicht wie tropfbare Flüſſigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unſerer Atmoſphäre, iſt eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußerſten Grenze die Ausdehnſamkeit der Luft ſehr gering iſt und darum mit der Schwere im Gleichgewichte ſtehen kann. Auf dieſer freien Oberfläche müſſen (142) die Richtungen der Schwere ſenkrecht ſtehen, und dieſe daher nahe die Geſtalt einer Kugel haben. Daher ſagt man, die atm. Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche ſich im Inneren eines Gaſes befinden, werden nicht bloß durch ihre Schwere, ſondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gasſäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müſſen durch ihre Ausdehnſamkeit und den Widerſtand der benachbarten Theile dieſem Drucke widerſtehen. Solche Theile, welche von dem Erdmittelpunkte gleich weit entfernt ſind, werden mit gleichen Kräften abwärts gedrückt, und müſſen demnach auch gleiche Expanſivkräfte haben. In der Atmoſphäre ſoll, weil der Luftdruck durch die Barometerhöhe angezeigt wird, dieſem Geſetze gemäß, an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Erdmittelpunkte haben, die Barometerhöhe gleich groß ſeyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieſes wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verurſachen aber die beſtändigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen; doch ſtimmen auch hier die, aus vielen Beobachtungen genommenen, mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck iſt offenbar deſto größer, je tiefer dieſes Theilchen unter der Oberfläche der Gasmaſſe liegt; darum muß auch die Ausdehnſamkeit, und bei einerlei Temperatur, auch die Dichte derſelben von unten nach oben abnehmen. Dieſe Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft iſt in der Atmoſphäre ſehr merklich. Bringt man eine wohl verſchloſſene, Luft enthaltende, aber ſchlaffe Blaſe vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel deſſelben; ſo findet man, daß ſie anſchwillt. Auch das Barometer ſinkt, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

In der Höhe von etwa 5 Meilen über der Erdoberfläche iſt die Luft ſo ſehr verdünnt, wie wir dieſes in unſeren Laboratorien mit der beſten Luftpumpe kaum bewerkſtelligen können; ſelbſt auf hohen Bergen hat ſie ſchon eine für die Lebensfunctionen des Menſchen zu geringe Dichte.

Kommt man in die Höhe von 1500 W. K. und darüber, ſo ſtellet ſich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß faſt alle hundert Schritte einige Minuten ausruhen; dazu geſellt ſich ein läſtiges Ohrenſtechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen, man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beſchwerlich, der Puls ſchlägt ſchnell, oft tritt ſogar Neigung zum Erbrechen ein, ſelbſt Wunden heilen langſamer und Arzneimittel wirken ſchwächer. — Der mittlere Barometerſtand, d. h. derjenige, welcher ſich aus ſehr vielen Beobachtungen im Durchſchnitte ergibt, beträgt an der Meeresfläche 28.895 W. Z., auf der Wiener Sternwarte (85 Klafter höher) 28.315 Z.; auf der Spitze des Montblanc fand ihn Sauſſure 16.108 P. Z. Parrot am Ararat 16.06 Z. Von der Meeresfläche an, muß man $72^1/_2$ Fuß ſteigen, um das Barometer um 1 Linie fallen zu machen.

205. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verurſacht, daß der Druck einer Luftſäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältniſſe mit der Entfernung von einer beſtimmten Horizontalebene abnimmt, ſondern daß dieſe Abnahme in einer geometriſchen Progreſſion geſchieht, während die Entfernungen von dieſer Ebene eine arithmetiſche Reihe bilden. Es ſey eine zwiſchen den verticalen Ax und By (Fig. 70) befindliche Luftſäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK in gleiche Schichten getheilt, die eine ſo geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe dieſe Luft in der n^{ten} Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftſäule den Druck P_n, wo n eine Zahl iſt, welche die Schichte angibt, für welche dieſe Größen gelten, ſo daß d_1, d_2 ... p_1, p_2 ... P_1, P_2 ... ſich auf die erſte, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Baſis AB wird demnach durch P_0 ausgedrückt. Da iſt nun

$p_1 : p_n = d_1 : d_n$ und $P_1 : P_n = d_1 : d_n$, mithin auch

$p_1 : p_n = P_1 : P_n$ oder $p_1 : P_1 = p_n : P_n$, woraus man erhält

$P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n$. Es iſt aber

$P_1 + p_1 = P_0$, $P_n + p_n = P_{n-1}$, mithin auch

$P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n$, und daher $P_n = \frac{P_1}{P_0} . P_{n-1}$.

Setzt man für n ſucceſſive 1, 2, 3 ꝛc., und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_0} = Q$, ſo erhält man die Werthe $P_1 = Q . P_0$, $P_2 = Q . P_1 = Q^2 . P_0$, $P_3 = Q . P_2 = Q^3 . P_0$ u. ſ. f. Es ſind alſo P_0, P_1, P_2, P_3 ꝛc. Glieder einer geometriſchen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG ꝛc. zu einer arithmetiſchen gehören. Dieſes Geſetz wird in der Wirklichkeit immer dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftſchichten dieſelbe iſt, die Schwere auf alle gleich ſtark wirkt, und das Mariotte'ſche Geſetz für jeden hier vorkommenden Grad der Luftdichte giltig iſt. So wie es ſich mit einem dieſer Punkte anders verhält, muß auch das genannte Geſetz anders ausfallen.

206. Die Geſetze des Gleichgewichtes ausdehnſamer und in dieſelben getauchter, feſter oder tropfbarer Körper ſtimmen mit jenen genau

überein, welche zwiſchen tropfbaren und darin befindlichen, feſten Maſſen aufgeſtellt worden ſind. Es verliert ein Körper in einem Gaſe ſo viel von ſeinem Gewichte, als die verdrängte Gasmaſſe wiegt. Dieſes hat auf die Gewichtsbeſtimmung der Körper Einfluß. Man findet nämlich beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann ſein abſolutes Gewicht richtig, wenn er mit dem Gegengewichte von gleicher Dichte iſt. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, ſo findet man jenes Gewicht um ſo viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volum beträgt, welches dem Unterſchiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich iſt. In den meiſten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man ſie nöthig, ſo iſt aus dem Vorhergehenden leicht erſichtlich, auf welche Weiſe ſie zu machen ſey. — Auf demſelben Geſetze beruht auch das Wagmanometer, ein Inſtrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage beſteht, an der ein Gewicht von ſehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte ſteht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel ſinken, weil ihr Gewichtsverluſt minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; ſobald die Luft dichter wird, muß die Kugel ſteigen. Es iſt leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand geſetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das ſpecifiſche Gewicht der Luft ſchließen zu können. Otto Guerike hat dieſes Inſtrument erfunden, Fouchy und Gerſtner haben es bedeutend verbeſſert. (Gerſtner's Luftwage in den Beobachtungen auf Reiſen nach dem Rieſengebirge. Dresden 1791. Gerſtner's Mechanik. Bd. 3.) Eine nothwendige Folge desſelben Geſetzes iſt auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volum Luft, in dieſer aufſteigen muß. Hierauf gründet ſich das Steigen der mit erwärmter atm. Luft oder mit Waſſerſtoffgas gefüllten Luftballone. Dieſe verhalten ſich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Waſſer, nur mit dem Unterſchiede, daß ſie nicht bis zum Ende der Atmoſphäre ſteigen können, weil ſie in immer dünnere Luftſchichten kommen, ſo daß ſie nothwendig einmal eine erreichen, deren ſpecifiſches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Sie ließen am 5. Juli desſelben Jahres eines Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, ſteigen, indem ſie ihn durch erwärmte Luft auftrieben. Er ſtieg auf eine Höhe von 6000 Fuß. Bald darauf ſendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Waſſerſtoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande haben ſich zuerſt dieſem gefährlichen Fahrzeuge anvertraut, unter einem ſolchen Enthuſiasmus der Pariſer, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons faſt nicht mehr Aufſehen macht, als das Fallen einer Sternſchnuppe. — Heut zu Tage verfertiget man die Luftballone aus Taffet, der zuerſt gehörig zugeſchnitten, dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überſtrichen wird. Die Stücke

werden zuſammengenäht, und die Nähte mit demſelben Firniß überzogen. Der kleinſte kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmeſſer haben, einer aus Goldſchlägerhäutchen ſteigt ſchon, wenn er ſechs Zoll im Durchmeſſer hat. Garnerin's Luftballon hatte 80 Fuß im größten, 25 F. im kleinſten Durchmeſſer, und faßte daher 10,400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wiegen; es blieb ihm alſo eine Steigkraft von 520 Pfund. Neuerlich hat der durch ſeine zahlreichen und kühnen Fahrten ausgezeichnete engliſche Luftſchiffer Green mit bedeutendem Vortheile das bei der Deſtillation der Steinkohle ſich entwickelnde (auch als Beleuchtungsmaterial dienende) Gas ſtatt des Waſſerſtoffgaſes zur Füllung der Luftballone angewendet.

Siehe hierüber: Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1784. Anhang zur Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1786. Zachariä, Elemente der Luftſchwimmkunſt. Wittenberg 1807. Theorie der Aëronautik von C. Laczynski. Mohrungen 1833.

207. Zwei Gaſe, welche durch eine bewegliche aber undurchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Waſſer-, Oehl- oder Queckſilberſäule getrennt ſind, ſtehen im Gleichgewichte, wenn ſie mit gleichen und entgegengeſetzten Kräften unmittelbar auf die Scheidewand, und daher mittelbar auf einander wirken. Es muß demnach jede Veränderung in der Ausdehnſamkeit des einen Gaſes eine ähnliche im anderen hervorbringen. Ein Gas, das auf gewöhnliche Art in einem mit Flüſſigkeit abgeſperrten Recipienten aufbewahrt wird, ſteht mit der Atmoſphäre im Gleichgewichte; doch wirket dieſe nur dann mit ihrem ganzen Drucke auf das Gas, wenn die Sperrflüſſigkeit innerhalb und außerhalb des Recipienten gleich hoch ſteht. Oft ſteht dieſe innerhalb des Recipienten höher, als außerhalb desſelben; in dieſem Falle hat das Gas nur einen Theil des ganzen Luftdruckes zu ertragen. Es ſey a der Höhenunterſchied zwiſchen dem Stande der äußeren und inneren Flüſſigkeit, auf Queckſilber reducirt, b der äußere Barometerſtand und v das Volum des Gaſes im Recipienten. Wird dieſes auf den ganzen Luftdruck reducirt, ſo geht es in v' über, und man hat:

$$v : v' = b : b - a, \text{ d. i. } v' = \frac{b - a}{b} \cdot v.$$

Aus dem hier erwähnten Geſetze erklären ſich auch: Die Wirkung des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Sicherheitsröhren, Gaſometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerſpritzen, die Wirkungen der Windbüchſe, das Saugen, Trinken, Tabakrauchen, und eine ungemeine Menge phyſikaliſcher Spielwerkzeuge, z. B. das magiſche Tintenfaß, der magiſche Trichter, der Oehlkrug der Witwe, das Sieb der Veſtalin, der Zauberbrunnen, die ſchwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m. (Letztere findet man größtentheils in *Wolfii Elementa Matheseos. Gen.* 1746. *Tom.* 2. Oder in den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorleſungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.) — Der Stechheber iſt eine wenige Fuß lange, beiderſeits offene und in der Mitte bedeutend erweiterte Röhre, mittelſt der man Flüſſigkeiten aus Fäſſern heraushebt. Man taucht die Röhre in die

Flüſſigkeit, und ſaugt am äußeren Ende, ſchließt dann das letztere, und zieht die Röhre ſammt Inhalt aus der Flüſſigkeit (Fig. 71). — Der gekrümmte Heber iſt eine unter 32 Fuß lange, gebogene Röhre, wovon ein Schenkel länger iſt als der andere (Fig. 72 und 73). Füllt man eine ſolche Röhre mit einer Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, und wendet ſie dann um, ſo fließt dieſes gänzlich durch den längeren Schenkel heraus. Dieſes Phänomen beruht auf dem Drucke des Waſſers und der Luft. Das Waſſer drückt nämlich abwärts, im längeren Schenkel mit einer Kraft $= P$, im kürzeren aber mit einer Kraft $= p$, und es iſt $P > p$. Die Luft drückt aufwärts, im erſteren Schenkel mit einer Kraft Q, im zweiten mit der Kraft q, und man kann immer ſetzen $Q = q$ Es iſt ſtets aber $Q > P$ und deſto mehr $Q > p$ und man hat als Reſultirende beider Kräfte am längeren Arm $Q - P$, am kürzeren $q - p$, und beide dieſer Kräfte ſind aufwärts gerichtet. Es iſt aber $Q - P < q - p$, mithin wirkt die Reſultirende aus $Q - P$ und $q - p$ am längeren Schenkel abwärts. — Eine Sicherheitsröhre nennt man eine beiderſeits offene Röhre, die man an einem Gasrecipienten anbringt, um den Grad der Ausdehnſamkeit des darin befindlichen Gaſes zu erkennen, und dem Zerſpringen des Gefäßes vorbeugen zu können. Es ſey A (Fig. 74) eine Flaſche, die zum Theil mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt iſt, und a die Sicherheitsröhre, welche bis nahe an den Boden der Flaſche reicht. Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expanſivkraft, ſo wird auch die Flüſſigkeit in der Flaſche und in der Röhre gleich hoch ſtehen: ſo wie aber die des Gaſes zunimmt, ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre, bis ihr Druck der flüſſigen Säule, verſtärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht hält. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüſſigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas abſorbirt wird, oder ob neues hinzukommt, vorausgeſetzt, daß Temperatur und Luftdruck beſtändig bleiben. Damit eine ſolche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüſſigkeit faſſe, und dieſe das Gas doch nicht zu ſtark zurückdrücke, biegt man ſie, und bringt an gewiſſen Stellen kugelförmige Erweiterungen an. Eine ſolche Röhre, wie B, heißt eine Welter'ſche Sicherheitsröhre. — Gaſometer nennt man jene luftdichten Gefäße, aus denen man ein Gas in einem regelmäßigen Strome in ein anderes hinüberleiten kann. Es ſey A (Fig. 75) ein oben offenes Gefäß, das Waſſer oder Queckſilber ꝛc. enthalt, und B ein anderes kleineres darüber geſtürztes, deſſen Gewicht ſo eingerichtet iſt, daß es in der Flüſſigkeit, welche A enthält, untertaucht. Enthält nun B ein Gas, und hat A eine nach außen communicirende Röhre C; ſo wird dieſes Gas durch den Druck des oberen Gefäßes durch die Röhre herausgetrieben. Um einen gleichförmigen Gasſtrom zu erhalten, braucht man ziemlich complicirte Einrichtungen an B. (Zenneck's Myzogaſometer in Zeitſch. 11. 256.) — Ein Blasbalg iſt ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kaſten, deſſen innerer Raum ſich vergrößern und verkleinern läßt, und beim Erweitern durch eine enge Oeffnung Luft ſchöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Oeffnung entweichen läßt. — Der Heronsball (Fig. 76) iſt ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre verſehen, übrigens aber luftdicht verſchloſſen iſt. Füllt man es zum Theil mit Waſſer, und verdichtet dann die innere Luft, ſo ſpringt erſteres durch die Röhre heraus. — Der Heronsbrunnen (Fig. 77) iſt ein Heronsball, der mit einem anderen, luftdichten Gefäße mittelſt zwei Röhren verbunden iſt, wovon die eine am oberen Boden des Heronsballs aufhört, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, mit dem einen Ende bis an den unteren

Boden des unteren Gefäßes reicht, und mit dem anderen ſich nach außen in einen über dem oberen Gefäße befindlichen tellerartigen Aufſatz öffnet. Enthält dieſer Waſſer, ſo fließt es durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt, und daſelbſt ein Hervorſpringen des Waſſers bewirkt, das ſich in dem oberen Teller ſammelt, und dann in das untere Gefäß abfließt. Dieß geht ſo lange fort, als noch im Heronsballe Waſſer vorhanden iſt. Wird das Ausflußrohr des Heronsballes nach oben verlängert, ſo ſteigt das Waſſer darin ſo weit empor, daß die Höhe der gehobenen Säule jener der drückenden gleich kommt. Die zwiſchen beiden Waſſerſäulen enthaltene Luft dient dann bloß als Fortpflanzungsmittel des Druckes. — Eine Saugpumpe (Fig. 78) beſteht aus einer höchſtens 28 Fuß langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Waſſer getaucht iſt, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung ſteht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden iſt, hat letzterer ein Ventil c, das ſich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt. Dieſes macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt, und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens ſteigt ſie über ſein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieſer Luftverdünnung in der Saugröhre ſteht das Steigen des Waſſers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenſpiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e. — Die Druckpumpe (Fig. 79) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das ſich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht ſchließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befindet ſich eine aufwärts gekrümmte Röhre c (Steigröhre) mit einem Ventile d, das ſich von innen nach außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Waſſer in den Stiefel geſtiegen iſt, ſo wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurückläßt, ſelbſt wenn der Kolben gehoben wird, ſo kommt es mit jedem Kolbenſtoße höher zu ſtehen, und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung e. — Die Feuerſpritze (Fig. 80) beſteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen a, a, die das Waſſer in einen Heronsball b pumpen, aus welchem es mittelſt eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorſpritzt. — Die Windbüchſe (Fig. 81) beſteht aus einem ſehr ſtarken metallenen Gefäße a (Flaſche), in welchem die Luft ſtark (etwa 60mal) verdichtet worden iſt, und das durch eine Klappe verſchloſſen wird, die ſich von außen nach innen öffnet. An die Flaſche iſt das Rohr b angeſetzt, aus welchem eine Kugel ausgeſchoſſen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flaſche geöffnet wird.

208. Iſt die Scheidewand, welche zwei Gaſe von einander trennt, für dieſelben undurchdringlich, wie z. B. thieriſche Blaſen, Holz, gebrannter, aber nicht glaſirter Thon, gebrannter, in Waſſer abgerührter und hierauf getrockneter Gips ꝛc.; ſo dringen von jedem Gaſe Volume durch die Wand, welche ſich (nach Graham) umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichte der Gaſe verhalten, vorausgeſetzt, daß die Gaſe nicht chemiſch auf einander wirken und ihr Druck zu beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Verlaufes gleich groß erhalten wird. Wenn von jedem der zwei Gaſe ein dieſem Ge-

ſetze entſprechender Theil durch die Scheidewand gegangen iſt, herrſcht Gleichgewicht. Dieſes tritt aber ſchon früher ein, und die Strömung der Gaſe durch die Scheidewand hört auf, wenn der Druck auf letztere nicht von beiden Seiten gleich erhalten wird.

Verſuche über dieſen Gegenſtand ſtellt man am leichteſten an, indem man ein beiderſeits offenes Glasrohr mit einer Blaſe verbindet, oder noch beſſer es mit einem Stöpſel von gebranntem, mit Waſſer angemachten und dann in der Luft gut getrockneten Gips verſieht, ein Gas einfüllt, es durch Waſſer ſperrt, und das Ganze ſammt der Sperrflüſſigkeit in ein Gefäß bringt, welches das zweite Gas enthält, ſo daß beide Gaſe durch die Sperrflüſſigkeit und durch die poröſe Scheidewand von einander getrennt ſind. Bei Verſuchen mit irgend einem Gaſe und atm. Luft kann der zweite Recipient wegbleiben. Während des Verſuches muß die Sperrflüſſigkeit ſorgfältig regulirt werden, damit ſie immer in beiden Gefäßen gleich hoch ſtehe. Iſt das in der Röhre befindliche Gasvolum ſtationär geworden, ſo theilt man den Rauminhalt des entwichenen Gaſes durch jenen des dafür eingetretenen, und erhält ſo den Diffuſionsquotienten; Graham fand denſelben für Hydrogengas und atm. Luft im Durchſchnitte aus 5 Verſuchen = 3.848. Wird die Dichte des Hydrogengaſes 0.0688 geſetzt, ſo erhält man, obigem Geſetze gemäß, für dieſen Quotienten 3.8125. (Pogg. Ann. 17. 341; 28. 331; Schweigg. J. 57. 215. Zeitſch. 8. 9.)

209. Steht ein Gemenge aus a Theilen atm. Luft und h Theilen eines anderen Gaſes, z. B. Hydrogengas, mit dem Drucke der Atm. im Gleichgewichte; ſo iſt der Druck des Hydrogengaſes nach auswärts $= \frac{h}{a+h}$ und jener der inneren atm. Luft $= \frac{a}{a+h}$, vorausgeſetzt, daß der äußere Luftdruck = 1 geſetzt wird. Iſt nun dieſes Gemenge durch eine poröſe Scheidewand von der atm. Luft getrennt, ſo überſteigt das Beſtreben der äußeren Luft, in das Gemenge einzudringen, jenes der inneren, auswärts zu gehen, um die Größe $1 - \frac{a}{a+h} = \frac{h}{a+h}$, alſo gerade um ſo viel, als das Hydrogengas auswärts ſtrebt. Dieſes Geſetz gilt für unbeſtimmte Werthe von a und h. Wirkte nun ein Gas auf ein anderes, ſo würde bei jedem Mengungsverhältniſſe Gleichgewicht herrſchen; da dieſes aber nicht der Fall iſt, ſondern ein Gas in den Raum eines anderen eindringt, ſo folgt daraus, was Dalton zuerſt behauptet hat, daß Gaſe, die ſich nicht chemiſch verwandt ſind, auf einander nicht wirken. Bringt man daher in den Raum, den ein Gas bereits einnimmt, ein anderes, ſo wird erſteres für jedes Theilchen des letzteren nichts als eine höchſt poröſe, nach allen Richtungen gleich durchdringliche Scheidewand, und die Verbreitung des einen Gaſes im anderen muß, wenn nicht äußere Kräfte einwirken, in allen Richtungen nach demſelben Geſetze erfolgen, und das Gleichgewicht kann erſt dann hergeſtellt ſeyn, wenn beide Gaſe gleichförmig mit einander gemengt ſind. Zwiſchen der Verbreitung eines Gaſes im leeren Raume und der in einem anderen Gaſe gibt es keinen anderen Unterſchied, als daß dieſelbe im erſteren Falle ſchneller vor ſich geht, etwa ſo, wie Waſſer in einem offenen Rinnſale ſchneller fortkommt als in

einem mit Sand gefüllten. Der vereinte Druck aller in einem Gemenge enthaltenen Gaſe auf die Scheidewand iſt im Stande des Gleichgewichts dem Gegendrucke der Atmoſphäre gleich. Füllt man in einen ſchon von einem Gaſe occupirten Raum ein zweites Gas ein, ſo wächſt das Gasvolum nur darum, weil beide Gaſe zuſammenwirken, dem äußeren Drucke das Gleichgewicht zu halten, und daher der Druck auf jedes einzelne vermindert iſt.

210. Zwiſchen Gaſen und feſten und tropfbaren Körpern findet eben ſo eine Adhäſion Statt, wie zwiſchen feſten und tropfbaren (149), denn wie wäre ſonſt erklärbar, daß Luft ſo hartnäckig an Glas haftet, und nur durch große Hitze vertrieben werden kann, was man beſonders beim Auskochen der Barometer erfährt. An der Oberfläche eines jeden feſten Körpers iſt eine Schichte von dem Gaſe, das ihn umgibt, verdichtet, und kann zunächſt am Körper ſogar tropfbar ſeyn, wenn dazu überhaupt ein mäßiger Druck hinreicht. Die Menge der ſo verdichteten Luft muß ſich natürlich nach der Adhäſion, die zwiſchen dem Körper und dem Gaſe Statt findet, und nach der Größe der Oberfläche richten. Poröſe oder gepulverte Körper bieten ſelbſt bei einer kleinen Maſſe einem Gaſe eine ſehr große Oberfläche dar (die Oberfläche aller Poren eines Stückes Holzkohle von der Größe eines Kubikzolls kann über 100 Q. Fuß betragen); findet nun zwiſchen einem Gaſe und einem ſolchen Körper eine Adhäſion Statt, ſo muß letzterer eine gewiſſe Menge dieſes Gaſes abſorbiren. Man bemerkt dieſes in der That an friſch geglühter und in Queckſilber abgelöſchter Kohle, an poröſem Holz, Meerſchaum, Wollen- und Seidenzeugen, an Platinpulver (Platinſchwamm) und an vielen Flüſſigkeiten. Ein ſo abſorbirtes Gas ſteht nach denſelben Geſetzen mit dem freien im Gleichgewichte, an welche freie Gaſe gebunden ſind, wenn man auf die Verminderung der ſpecifiſchen Expanſivkraft durch die Abſorption Rückſicht nimmt. Man denke ſich z. B. Waſſer mit Sauerſtoffgas in Berührung, einen Theil desſelben bereits abſorbirt, und das freie Gas mit dem abſorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gaſes vermehrt, ſo muß auch jene des abſorbirten zunehmen, welches durch Abſorption eines neuen Quantums geſchieht, wenn das Gleichgewicht bei dieſer Lage der Dinge fortdauern ſoll. Auf gleiche Weiſe muß ein Theil des abſorbirten Gaſes frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Aendert ſich die Temperatur des Gaſes und der abſorbirten Flüſſigkeit, ſo nehmen zwar die Expanſivkräfte des freien und des abſorbirten Gaſes auf gleiche Weiſe ab oder zu, aber der Erfolg fällt verſchieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Iſt erſteres der Fall, ſo bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gaſes auf die Flüſſigkeit derſelbe, während die Spannkraft des abſorbirten ſich ändert und beim Erwärmen wächſt, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des abſorbirten Gaſes frei gelaſſen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum abſorbirt werden, abgeſehen von der etwa durch die Tem-

peraturänderung hervorgebrachten Modification des Abſorptionsvermögens der Flüſſigkeit. Nach Henry's Verſuchen abſorbirt Waſſer nach einer Temperaturerhöhung von 10° C. um 0.133 weniger Luft als vor derſelben. Iſt die freie Luft ſo eingeſchloſſen, daß ſie nicht entweichen kann, ſo bringt eine Temperaturänderung im freien und im abſorbirten Gaſe dieſelbe Aenderung der Expanſivkraft hervor, und es wird das abſorbirte Gas weder vermehrt noch vermindert. Dieſes iſt das von Dalton auf empiriſchem Wege gefundene Geſetz, vermög welchem das Verhältniß zwiſchen dem abſorbirten und dem freien Gaſe bei jedem Temperaturwechſel unverändert bleibt, wenn nur die tropfbare Flüſſigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüſſigkeit, die ſchon Gas abſorbirt hat, eine andere Luftart; ſo wird zur Herſtellung eines ſtabilen Gleichgewichtes ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, ein Theil des freien abſorbirt, und es tritt ſowohl im abſorbirten als im freien Gaſe eine gleichförmige Mengung beider ein. Kommt eine Flüſſigkeit mit zwei Gaſen zugleich in Berührung, ſo nimmt ſie von jedem einen Theil auf, der ſich nach der Einſaugbarkeit desſelben und nach dem Verhältniſſe, in welchem die Gaſe gemengt ſind, richtet. (Gehler's neues phyſ. Wörterbuch. Art. Abſorption.)

Dieſe Geſetze des Gleichgewichtes abſorbirter Gaſe mit freien, ſind nicht bloß in theoretiſcher Hinſicht wichtig, ſondern geſtatten vielfache practiſche Anwendungen. Sie lehrten z. B. daß es nothwendig ſey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Queckſilber beſtändig Luft eingeſaugt wird; daß man auf die Reinheit eines Gaſes, das längere Zeit durch Waſſer oder Queckſilber geſperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen darf. Faraday fand reines Waſſerſtoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropf verſehenen, umgekehrten Flaſche, deren Hals in Queckſilber geſenkt war, aufbewahrte, nach 15 Monaten völlig durch atm. Luft erſetzt; zwei andere, eben ſo vorgerichtete, Fläſchen enthielten nach derſelben Zeit ein Gemenge von Waſſerſtoffgas und atm. Luft. (Pogg. Ann. 8. 124.) Aus denſelben Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, eine Flüſſigkeit mit einem Gaſe zu imprägniren, oder ſie von einem abſorbirten Gaſe zu befreien. Soll eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, viel von einem Gas, z. B. von Kohlenſäuregas aufnehmen (welches beſonders bei der Bereitung vieler künſtlicher Mineralwäſſer der Fall iſt); ſo muß man das freie Gas über der Flüſſigkeit möglichſt ſtark comprimiren, und die Arbeit bei einer den Eispunkt nicht weit überſteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verſchloſſene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unſer Zuthun mit ſtark verdichtetem Kohleſäuregas in Berührung, und nehmen daher ſehr viel davon auf. Um eine Flüſſigkeit von der eingeſaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf laſtenden Luftdruck auf $1/_{10}$, $1/_{100}$ ꝛc. herab, ſo wird auch nur $1/_{10}$, $1/_{100}$ ꝛc. des eingeſaugten Gaſes zurückbleiben. Die Wirkſamkeit dieſes Mittels verurſacht das Perlen mouſſirender Weine, der Mineralwäſſer, wenn man eine Flaſche derſelben öffnet. Indeß gibt es doch Gaſe, wie z. B. Ammoniakgas, Salzſäuregas, wovon ſelbſt im luftleeren Raum ein Theil mit Waſſer in Verbindung bleibt. Wir ſind geneigt, dieſes als ein Zeichen einer chemiſchen Verbindung des Gaſes mit der tropfbaren

Flüſſigkeit zu betrachten, und in allen anderen Fällen die Abſorption als mechaniſche Wirkung anzuſehen. 2) Veränderung des damit in Berührung ſtehenden Gaſes. Dadurch wird zwar ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, dafür aber ein Theil des neuen Gaſes abſorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblaſen im Eiſe. 4) Zuſatz eines gepulverten Stoffes oder eines ſolchen, der ſich in der Flüſſigkeit auflöſet und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas abſorbirt. So z. B. läßt Waſſer die eingeſaugte Luft größtentheils fahren, wenn man Schwefelſäure oder Kochſalz damit miſcht.

D. Gleichgewicht der Dünſte.

211. Man weiß ſeit undenklichen Zeiten, daß Waſſer, der freien Luft bei der gewöhnlichen Temperatur in einem offenen Gefäße ausgeſetzt, fortwährend weniger wird und endlich ganz verſchwindet; etwas Aehnliches bemerkt man auch beim Sieden desſelben, nur mit dem Unterſchiede, daß hier die Verminderung viel ſchneller eintritt. In letzterem Falle kann man nicht läugnen, daß die tropfbare Maſſe in einen luftartigen Körper, in Waſſerdunſt, übergeht, im erſteren aber ſah man früher am Luftdrucke ein Hinderniß der Bildung des Dunſtes, und nahm darum an, das Waſſer werde von der Luft eben ſo aufgelöſet, wie z. B. Kochſalz vom Waſſer. Einige Phyſiker, wie z. B. Sauſſure, ließen wohl das Waſſer auch unter der Siedhitze in einen ausdehnſamen Körper übergehen, meinten aber, es werde dieſer erſt nachher von der Luft aufgelöſet. Allein theils die früher bewieſenen Geſetze des Gleichgewichtes der Gaſe (209), unter welchen auch der Waſſerdunſt als expanſibler Körper ſtehen muß, insbeſondere aber die folgenden Verſuche, aus denen hervorgeht, daß das Waſſer und jede andere tropfbare Flüſſigkeit im luftleeren Raume, wo an keine Auflöſung zu denken iſt, nach denſelben Geſetzen verdünſtet, wie in der Luft, und daß der Dunſt die Eigenſchaften, welche er im luftleeren Raume beſitzt, in jeder Luftart unverändert beibehält, laſſen keinen Zweifel übrig, daß Flüſſigkeiten auch unter ihrer Siedhitze verdunſten, und daß der Dunſt in jeder Luftart wirklich eben ſo ſelbſtſtändig beſteht, wie ein Gas in dem anderen. (Von den Geſetzen der Dunſtbildung in der Wärmelehre.)

212. Um die Eigenſchaften der Dünſte und die daraus fließenden Geſetze, nach welchen ſie unter ſich und mit anderen Kräften ins Gleichgewicht treten, kennen zu lernen, bedient man ſich am beſten des von Dalton gebrauchten Apparates, den Fig. 82 vorſtellt. Man bringt nämlich in den leeren Raum einer Barometeröhre a, die der Länge nach in gleiche Theile getheilt iſt, einige Tropfen der Flüſſigkeit, deren Dünſte man unterſuchen will. Die Barometerröhre umgibt man mit einer weiteren Röhre b von Glas, die oben offen iſt, und durch deren Boden die Barometerröhre luftdicht geſchoben wird, füllt den Zwiſchenraum mit Waſſer aus, bringt dieſes nach und nach auf verſchiedene Temperaturen, die man mittelſt eines Thermometers mit cylindriſchem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Länge

der Queckſilberſäule in dieſem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterſchied dieſer zwei Längen gibt offenbar die Größe der Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte an. Man kann in den oberen Raum eines ſolchen Barometers auch etwas atm. Luft oder ein anderes Gas bringen, und auch unter dieſen Umſtänden die Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte kennen lernen. Für höhere Temperaturen bedient man ſich einer, der heberförmigen Röhre a b (Fig. 83) ähnlichen Vorrichtung, in deren geſchloſſenen Arm b man die Flüſſigkeit bringt, um deren Dünſte es ſich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Queckſilber, und ſetzt den Apparat wieder den beabſichtigten Temperaturen aus. So wie dem Dunſte eine Spannkraft entſpricht, die größer iſt, als der auf die eingeſperrte Flüſſigkeit ausgeübte Druck von Seite der Queckſilberſäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Queckſilber im eingeſchloſſenen Schenkel herabgedrückt, und die Differenz zwiſchen der Länge der Queckſilberſäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Queckſilber im verſchloſſenen Arme höher ſteht als im offenen, iſt wieder das Maß der Expanſivkraft der Dünſte. Für Temperaturen unter dem Eispunkte, wo das in der äußeren Röhre (Fig. 82) entſtandene Eis keine Beobachtung des Standes der Queckſilberſäule mehr erlaubt, hat Gay-Luſſac ſeine Barometerröhre am oberen Ende ſchief gebogen (Fig. 84), und ſie daſelbſt in eine erkältende Miſchung getaucht. Da müſſen alle Dünſte in der Röhre die Spannkraft annehmen, welche der mindeſten daſelbſt herrſchenden Temperatur entſpricht, und man kann ſie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieſes Barometers und eines anderen daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Waſſerdunſtes, deſſen Verhalten den Phyſiker am meiſten intereſſirt, bei jeder herrſchenden Temperatur der Atmoſphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 85 abgebildete Vorrichtung, die gleichſam ein abgekürztes, gleichſchenkeliges, ganz geſchloſſenes Heberbarometer vorſtellt, in deſſen einem Arme ſich etwas Waſſer befindet, das den Dunſt liefert. Da gibt der Höhenunterſchied der Queckſilberſäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünſte an.

213. Mittelſt ſolcher Apparate hat man ſich überzeugt, daß ſich bei jeder Temperatur über 0° C. und ſogar noch weit unter 0° C. bis zu einer noch unbeſtimmten Grenze Waſſerdunſt bildet und beſteht, und eine gewiſſe Spannkraft und Dichte erlangen kann, welche nur von der Temperatur abhängt, und ſich nicht, wie dieſes bei Gaſen der Fall iſt, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt; denn ſo wie eine ſolche Raumverminderung eintritt, geht ein Theil der Dünſte in tropfbares Waſſer über, und der Reſt hat wieder ſeine vorige Expanſivkraft und Dichte. Dieſe iſt daher für die herrſchende Temperatur ein Maximum. Dieſes Maximum der Dichte und Expanſivkraft wächſt mit der Temperatur, jedoch in einem größeren Verhältniſſe als letztere. Werden Dünſte, die nicht mit Waſſer in Berührung ſtehen, erwärmt, ſo dehnen ſie ſich wie Gaſe aus (für 1° C. um

0.00365 des Volums bei 0° C.), und nehmen eben ſo an Spannkraft zu; werden ſie abgekühlt, ſo ziehen ſie ſich zuſammen, bis ihre Spannkraft das der herabgeſetzten Temperatur entſprechende Maximum erreicht hat. Dünſte, die mit Waſſer in Berührung ſtehen, verhalten ſich beim Abkühlen, wie die im vorhergehenden Falle, beim Erwärmen werden aber nicht bloß die ſchon vorhandenen ausdehnſamer, ſondern es entſtehen auch neue, bis das Maximum der Spannkraft erreicht iſt. Unter dieſem Maximum befolgen Dünſte auch das Mariotte'ſche Geſetz. Die folgende Tafel gibt das Maximum der Spannkraft der Waſſerdünſte von —20° bis 110° C., wie ſie ſich aus Dalton's Verſuchen mittelſt einer beſondern von Biot deducirten Formel ergeben.

Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien
— 20	0.607	— 5	1.667	10	4.317	25	10.519
19	0.651	4	1.780	11	4.589	26	11.139
18	0.697	3	1.900	12	4.878	27	11.790
17	0.729	2	2.026	13	5.184	28	12.476
16	0.799	1	2.162	14	5.506	29	13.232
15	0.856	0	2.305	15	5.848	30	13.959
14	0.916	+ 1	2.457	16	6.209	35	18.406
13	0.980	2	2.619	17	6.592	40	24.143
12	1.049	3	2.789	18	6.994	50	40.461
11	1.121	4	2.972	19	7.420	60	65.900
10	1 199	5	3.165	20	7.887	70	104.34
9	1.281	6	3.369	21	8.344	80	160.39
8	1.369	7	3.586	22	8.845	90	239.29
7	1.462	8	3.815	23	9.374	100	345.42
6	1.561	9	4.058	24	9.933	110	485.59

Dieſe Spannkräfte kommen aber nur den aus reinem Waſſer entſtandenen Dünſten zu; für Dünſte aus Waſſer, welches Salz oder andere Körper aufgelöſet enthält, fallen ſie geringer aus. (Egen in Pogg. Ann. 27. 9.)

Nach Gay-Luſſac beträgt die Spannkraft der Dünſte aus einer wäſſerigen Kochſalzlöſung von der Dichte 1.096 bei 10° C. nur etwa 0.9, die der aus Schwefelſäure von der Dichte 1.493 entſtandenen nur 0.18 derjenigen Spannkraft, welche den aus reinem Waſſer gebildeten bei derſelben Temperatur zukommt. Nach Prinſep (Zeitſch. 2. 29) bleibt dieſes Verhältniß für alle Temperaturen gleich.

214. Waſſerdünſte, die ſich in der Luft bilden oder derſelben beigemengt werden, vermengen ſich gleichförmig mit ihr, ſo wie ſich ein Gas mit einem anderen vermengt (209), und verhalten ſich da ſo wie im leeren Raume, ſind auch derſelben Spannkraft fähig, wie in dieſem. Von letzterem überzeugt man ſich mittelſt des Apparates Fig. 86. Dieſer beſteht aus einem in gleiche Raumtheile getheilten, oben geſchloſſenen, unten mit einer Stahlfaſſung und einem Stahlhahn verſehenen Glasrohr A von etwa 1 Zoll Durchmeſſer, an deſſen Seite eine

engere und längere offene Röhre B angeblaſen iſt. Der ganze Apparat kommt auf ein Geſtell zu ſtehen, ſo daß B einen verticalen Stand hat. Wenn man einen Verſuch machen will, ſo füllt man durch den Hahn das Rohr A halb voll Queckſilber, ſchließt dann den Hahn, und ſtellt den Apparat auf ſein Geſtell. Steht das Queckſilber nicht in beiden Schenkeln gleich hoch, ſo erhält man dieſen gleichen Stand durch Zugießen von neuem Queckſilber durch die Röhre B oder durch Ablaſſen mittelſt des Hahnes. Man mißt das Luftvolum v im Rohre A. Nun gießt man von der Flüſſigkeit, um deren Dünſte es ſich handelt, etwas in das Rohr B, und ſchafft einen Theil dadurch in das Gefäß A, daß man durch den Hahn ſo viel Queckſilber ablaufen läßt, bis jene Flüſſigkeit unter die Zuſammenfügungsſtelle beider Röhren gekommen iſt. Das abgelaſſene Queckſilber füllt man hierauf wieder durch B ein. Neigt man nun das Rohr A, damit ſeine Wände durch die eingefüllten Flüſſigkeiten benetzt werden, ſo bilden ſich die Dünſte raſch und das Queckſilber in A fällt. Iſt es zum Stillſtand gekommen, ſo wird ſo viel Queckſilber durch B nachgefüllt, als nothwendig iſt, um Dunſt und Luft auf das frühere Volum zu bringen, und man mißt hierauf die Länge der im Rohre B in die Höhe geſtiegenen Queckſilberſäule. Dieſe gibt die Spannkraft des Dunſtes für die beſtehende Temperatur, und wird ſtets der auf die vorige Weiſe (212) beſtimmten gleich gefunden. — Die Volumvergrößerung, welche durch den Zutritt der Dünſte eintritt, läßt ſich demnach berechnen. Heißt das urſprüngliche Luftvolum v, die durch den Dunſtbeitritt erzeugte Vergrößerung desſelben x, mithin das vergrößerte Volum $v + x$, ſo iſt die Spannkraft der Luft, welche urſprünglich dem Luftdrucke p gleich war, in $p \cdot \frac{v}{v+x}$ übergegangen und wird erſt durch die Spannkraft des Dunſtes e unterſtützt, wieder dem Luftdrucke gleich. Es iſt daher

$$p \cdot \frac{v}{v+x} + e = p, \text{ mithin } x = \frac{ev}{p-e}.$$

215. Die Dünſte anderer Flüſſigkeiten befolgen dieſelben Geſetze, wie die des Waſſers, aber die Expanſivkraft derſelben weicht von jener der Waſſerdünſte ab, und iſt überhaupt für dieſelbe Temperatur deſto kleiner, je ſchwerer die Flüſſigkeit ſiedet. So z. B. liefert Queckſilber bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, wo die Spannkraft der Waſſerdünſte ſchon bedeutend iſt, Dünſte von ſo geringer Spannkraft, daß ſie ſelbſt im Barometer keine merkliche Depreſſion erzeugen, und ſelbſt bei 100° C. iſt dieſe Spannkraft nicht größer als 0.012 W. L. (Pogg. Ann. 27. 60.)

216. Die vorhergehenden Unterſuchungen lehren die abſolute Expanſivkraft der Dünſte kennen. Zur Kenntniß der ſpecifiſchen gelangt man durch die Dichte der Dünſte im Verhältniſſe zur Luft unter denſelben Umſtänden, indem die Dichten bei gleichen abſoluten Expanſivkräften den ſpecifiſchen Expanſivkräften verkehrt proportionirt ſind. Um die Dichte des Dunſtes eines Stoffes zu finden, iſt es nothwendig, eine abgewogene Menge dieſes Stoffes in einen geſchloſſenen Raum zu

bringen, ihn in Dunſt zu verwandeln und das Volum desſelben zu beſtimmen. Dahin gelangte Gay-Luſſac für Waſſer durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zuſtande abgewogen, hierauf mit Waſſer gefüllt, zugeſchmolzen, wieder gewogen und ſo das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieſes Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Queckſilber gefüllten Recipienten gebracht und derſelbe erhitzt, bis das Waſſer die Glashülle zerſprengte, wo ſich dann Dunſt bildete, deſſen Volum man meſſen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleichwarmen Luftmaſſe vergleichen konnte. Bevor dieſes geſchah, mußte der Dunſt nach dem Mariotte'ſchen Geſetze auf den vollen Luftdruck (207) reducirt werden. So fand man, daß Waſſerdunſt bei 100° C. und 0.76 Meter Barometerhöhe 1700mal leichter iſt als Waſſer bei 0° C. Aber die Luft iſt unter genanntem Drucke bei 0° C. 770mal, mithin (nach 185) bei 100° C. 770 (1 + 0.364), d. h. 1050mal leichter als Waſſer; es verhält ſich daher die Dichte des Dunſtes unter genannten Umſtänden zur Dichte der Luft, wie 1050 zu 1700, d. h. nahe wie 0.62 : 1, oder auch wie 1 : 1.6. Nach dem Mariotte'ſchen und Gay-Luſſac'ſchen Geſetze kann man dieſes Reſultat auch auf alle anderen Temperaturen und Spannkräfte ausdehnen und daher annehmen, daß überhaupt die Dichte des Waſſerdunſtes $^{10}/_{16}$ von jener der Luft unter denſelben Umſtänden beträgt. Mit großer Sicherheit läßt ſich die Dichte des Waſſerdunſtes mit Hilfe der ſo genau bekannten Dichten des Sauerſtoff- und Waſſerſtoffgaſes, wie in 200 gezeigt wurde, berechnen. Um mit dem oben erhaltenen Reſultate in Harmonie zu kommen, mußte man dort annehmen, daß ſich die drei Volume der Beſtandtheile des Waſſers bei deſſen Bildung auf 2 Vol. zuſammenziehen. Dieß gibt die Dichte des Waſſerdunſtes = 0.6201. Auf gleiche Weiſe fand man die Dichte des Alkoholdunſtes 1.6005, die des Schwefelätherdunſtes 2.5809, jene der atm. Luft als Einheit angenommen. Es iſt demnach die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerdunſtes = 1.6126, des Alkoholdunſtes = 0.6248, des Schwefelätherdunſtes = 0.3875.

Zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes eines Stoffes, zumal eines ſolchen, zu deſſen Verflüchtigung eine höhere Temperatur erforderlich iſt, kann man auch in ein ſchickliches Gefäß eine Menge des Stoffes bringen, deren Dunſt einen Raum einnimmt, der den Inhalt des Gefäßes viele Male übertrifft, und nachdem man die Mündung des Gefäßes in eine Spitze ausgezogen hat, dasſelbe ſo lange erhitzen, bis kein Dunſt mehr entweicht, ſodann die Spitze zuſchmelzen. Die im Gefäße enthaltene Luft wurde hiebei ausgetrieben, und der Dunſt hatte die Spannkraft der umgebenden Luft. Die Wägung des mit dem Dunſte, mit Luft und endlich mit Waſſer gefüllten Gefäßes, nebſt Temperatur und Barometerſtand, geben die Daten zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes.

217. Sehr wichtig iſt in manchem Falle die Frage, wie groß die Expanſivkraft des in einem Raume vorhandenen Dunſtes ſey, insbeſondere, in welchem Verhältniſſe dieſe zu dem Maximum der Expanſivkraft ſtehe, die der Dunſt bei der herrſchenden Temperatur haben

könnte. Offenbar hängt hievon der Feuchtigkeitszuſtand ab, den wir der Luft zuſchreiben, und den wir durch Ausdehnung des Begriffes Feuchtigkeit auf die Leichtigkeit beziehen, womit Körper, die eine große Neigung haben, Waſſer aufzunehmen, dieſes durch Condenſation des der Luft beigemengten Dunſtes ſich verſchaffen können. Da hiezu von Seite des Körpers ein um ſo geringerer Kraftaufwand hinreicht, je näher die Expanſivkraft des Dunſtes dem Maximum liegt, ſo kann man füglich den Quotienten, den die Expanſivkraft e des in der Luft befindlichen Dunſtes durch das der herrſchenden Temperatur entſprechende Maximum E getheilt gibt, nämlich $\frac{e}{E}$ als den Ausdruck des Feuchtigkeitsgrades der Luft betrachten. Hiebei wird das Maximum der Feuchtigkeit durch die Einheit dargeſtellt. Für den Gebrauch im gemeinen Leben iſt es jedoch paſſender, den Feuchtigkeitsgrad der Luft durch die Zahl f auszudrücken, welche angibt, wie viel Procente des Marimums die ſtattfindende Expanſivkraft des Dunſtes beträgt, mithin $f = \frac{100\,e}{E}$ zu ſetzen. Die größte Feuchtigkeit wird demgemäß durch die Zahl 100 angezeigt. Der Feuchtigkeitsgrad iſt daher der Ausdruck der relativen Spannkraft des Dunſtes im Gegenſatze mit der abſoluten, d. h. ohne Beziehung auf das Maximum genommen.

218. Nicht minder wichtig als die oben ausgeſprochene, iſt die Frage, wie viel Dunſt in einem gegebenen Raume enthalten ſey. Man könnte dieſe Frage zwar dadurch beantworten, daß man die durch Aufnahme der Dünſte entſtandene Gewichtszunahme eines abſorbirenden Körpers in einem bekannten Raume beſtimmte (Brunner in Pogg. Ann. 20. 274.); doch iſt dieſes Verfahren in den meiſten Fällen zu umſtändlich, und man berechnet den Dunſtgehalt lieber aus der gefundenen Expanſivkraft der Dünſte. Dieſe Rechnung wird auf gleiche Weiſe geführt, es mag ſich in dieſem Raume nebſt dem Dunſte noch Luft befinden oder nicht, weil ein beſtimmter Raum in beiden Fällen gleich viel Dunſt faſſen kann, und die geſuchte Dunſtmaſſe iſt ſo groß, wie $^{10}/_{16}$ der Luftmaſſe, welche derſelbe Raum bei der herrſchenden Temperatur und unter jenem Drucke faſſen kann, welcher der Expanſivkraft des Dunſtes gleich iſt. Es lauft demnach alles darauf hinaus, die Expanſivkraft des Dunſtes in einem Raume zu finden. Dieſes hat keine Schwierigkeit, wenn der Raum mit Dunſt geſättiget iſt, d. h. wenn der Dunſt das Maximum ſeiner Expanſivkraft für die beſtehende Temperatur hat; denn dieſe gibt die Tafel S. 149 an; iſt aber dieſes nicht der Fall, ſo muß man ſich zur Beſtimmung der Expanſivkraft beſonderer Werkzeuge bedienen, die man Hygrometer nennt.

219. Die Hygrometer laſſen ſich in zwei Claſſen theilen. Die der einen Claſſe geben zunächſt, wenn auch nicht unmittelbar, die abſolute Expanſivkraft der Dünſte an, wie man ſie zur Löſung der vorhergehenden Aufgabe braucht; die in die andere Claſſe gehörigen führen zunächſt zur Kenntniß der relativen Spannkraft oder des Feuchtigkeitsgrades. Um die Einrichtung der Inſtrumente der erſten

Claſſe und ihre eigentlichen Leiſtungen kennen zu lernen, denke man ſich einen Raum, welcher die Dünſte enthält, deren Expanſivkraft geſucht wird, der aber nicht damit geſättiget iſt. Verdichtet man dieſe Dünſte durch Verkleinerung ihres Volums, bis ſie ſich in kleinen Tropfen abzuſetzen anfangen, ſo haben ſie das Maximum ihrer Spannkraft überſchritten; verfährt man aber mit dieſer Raumverminderung langſam und läßt die comprimirende Kraft nur um kleine Grade wachſen, ſo kann man den Raum in dem Momente, wo die Verdichtung des Dunſtes ſichtbar zu werden anfängt, als im Zuſtande der Sättigung befindlich anſehen, die dieſem Zuſtande entſprechende Spannkraft aus der Tafel S. 149 entnehmen und ſie in dem Verhältniſſe vermindern, in welchem das Dunſtvolum verkleinert werden mußte. Ein Apparat, wie der in Fig. 64 abgebildete, in deſſen verſchloſſenem Schenkel die Dünſte befindlich ſind, deren Volum durch Zugießen von Queckſilber durch den offenen Arm AB ſucceſſive verkleinert werden kann, wäre daher ſchon ein Hygrometer. Herapath hat wirklich ein ſolches Hygrometer empfohlen. Allein die Beſtimmung des Punktes der größten Spannkraft der Dünſte iſt auf dieſem Wege zu ſchwierig und zu unſicher; beſſer gelangt man zum Ziele, wenn man die zu prüfenden Dünſte entweder durch Verminderung ihrer Temperatur, oder dadurch und zugleich durch Zugabe neuer Dünſte auf das Maximum ihrer Spannkraft bringt. Dieſer Mittel bedienten ſich zum hygrometriſchen Behufe Dalton, Leslie und andere. Dalton nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Maſſe, welche das Glas und mittelſt deſſen auch die dasſelbe umgebende Luft ſo weit abzukühlen vermochte, daß ſich ein feiner Thau an den Wänden anzuſetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunkt eingetreten, oder eigentlich ſchon ein wenig überſchritten ſey. Als erkältende Maſſe diente im Sommer kaltes Waſſer, im Winter eine eigene Miſchung. Während der Erkaltung wurde die Temperatur des Glaſes beobachtet, und diejenige beſonders bemerkt, bei welcher das Beſchlagen der Wände eintrat. Wurde nun aus der Tafel der Expanſivkräfte, die dieſer Temperatur (dem Thaupunkte) entſprechende Spannkraft des Waſſerdunſtes genommen; ſo gab dieſe Größe die geſuchte Expanſivkraft an. Indeß geſtattet auch dieſes Verfahren keine große Genauigkeit. Darum hat man die Erkältung durch Verdünſtung einer flüchtigen Subſtanz, gewöhnlich des Schwefeläthers, hervorzubringen geſucht. Die Inſtrumente, bei denen dieſes Verfahren angewendet wird, heißen deßhalb auch Schwefelätherhygrometer. Die vorzüglichſten derſelben ſind das Daniell'ſche und das Körner'ſche. Daniell's Hygrometer iſt in Fig. 87 abgebildet. A iſt eine gläſerne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelſt der Röhre B mit einer zweiten ähnlichen Kugel C verbunden iſt, welche von außen mit feinem Muſſelin umwickelt worden. Beide Kugeln ſammt der Röhre B ſind luftleer und enthalten nur Aether. Wird durch die Wärme der Hand aller Aether in die Kugel A getrieben, und hierauf C von außen mit

Aether befeuchtet, ſo verurſacht die durch das Verdünſten entſtandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Aetherdunſtes, mithin eine neue Verdünſtung in A und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald A ſo weit erkältet iſt, daß ſich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein ſchmaler Thauring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für ſeine Anzeige in Dalton's Tafel die Expanſivkraft des Dunſtes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblaſen durch den Aether leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Körner's Hygrometer beſteht aus einem Thermometer, wovon die Kugel aufwärts gebogen, mit Muſſelin überwickelt und an der unteren Hälfte mit einer vergoldeten metallenen Schale bedeckt iſt (Fig. 88). Gibt man auf die Muſſelindecke einige Tropfen Schwefeläther; ſo beſchlägt die vergoldete Schale alſobald, und die Queckſilberſäule zeigt den Thaupunkt. — Das hygrometriſche Verfahren, wodurch man die Dünſte zugleich durch Erkältung und durch Zuſatz einer neuen Dunſtmenge auf das Maximum der Spannkraft bringt, wird auf folgende Weiſe eingeleitet: Man umwickle die Kugel eines Queckſilberthermometers, Thermohygrometer oder Pſychrometer genannt, mit Muſſelin und betröpfle ſie mit reinem Waſſer. Dieſes verdünſtet ſo lange, bis der Raum in der Nähe der Thermometerkugel mit Dunſt geſättiget iſt, und dieſe Verdünſtung bewirket eine deſto größere Erkältung, mithin ein deſto größeres Sinken des Thermometers, je mehr Dünſte entſtehen müſſen, bis das der obwaltenden Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft erreicht iſt, d. i. je weiter die Spannkraft der urſprünglich vorhandenen Dünſte von ihrem Maximum entfernt iſt; ſobald aber dieſes Maximum erreicht iſt, nimmt das Thermometer einen ſtationären Stand an. Man kann durch Rechnung die fragliche Spannkraft finden, wenn der Unterſchied zwiſchen dem Stande dieſes befeuchteten Thermometers (der Verdunſtungs- oder Naßkälte) und dem eines gewöhnlichen trockenen, und der Luftdruck gegeben ſind, und zwar, wenn die Thermometerkugel mit Waſſer überzogen iſt, nach der Formel (1), iſt ſie aber mit Eis überzogen, nach der Formel (2):

$$(1)\ e = e' - 0.00078\,bd, \quad (2)\ e = e' - 0.00076\,bd;$$

wo e die geſuchte Größe, e' die dem hygrometriſchen Thermometerſtande entſprechende größte Spannkraft der Waſſerdünſte, b den Barometerſtand und d die Differenz im Stande des hygrometriſchen und des gewöhnlichen 100theiligen Q. Thermometers bedeutet. Man hat zur Erleichterung der Rechnung eigene Tafeln, worin für jeden Werth von b und d der Werth von e angegeben iſt. (Pſychrometertafeln von Auguſt. Berlin 1832. Tabelle zur Beſtimmung der Luftfeuchtigkeit nach den Anzeigen des Thermohygrometers. Wien 1832. Hilfstafeln und Beiträge zur neueren Hygrometrie von Stierlin. Köln 1834.)

Nach dieſem Grundſatze hat Leslie ein eigenes Hygrometer conſtruirt, das in Fig. 89 abgebildet iſt und aus einer heberförmig gebogenen, an beiden Enden mit Kugeln verſehenen Thermometerröhre beſteht, welche eine gefärbte Flüſſigkeit enthält, während ſich in den beiden Kugeln Luft befindet. Eine dieſer Kugeln iſt mit Floretſeide umwunden, wo-

von einige Fäden in ein Gefäß mit Waſſer reichen und mittelſt Capillarität etwas davon der Kugel zuführen, damit ſie immer feucht erhalten werde. So wie das Waſſer verdünſtet und die in der umwickelten Kugel enthaltene Luft abgekühlt wird, ſteigt in dem daran grenzenden Theile der Röhre die Flüſſigkeit und läßt aus ihrem Stande den Unterſchied in der Temperatur der trockenen und feuchten Kugel erkennen, aus der man wieder durch eine beſondere (von der obigen verſchiedene) Formel die Expanſivkraft der Dünſte kennen lernen kann. Auguſt hat zuerſt ein gewöhnliches Thermometer auf ähnliche Weiſe ſehr zweckmäßig zur ſteten Befeuchtung eingerichtet und dieſes Inſtrument Pſychrometer (Naßkältemeſſer) genannt. (Pogg. Ann. 5. 69, 335.)

220. Die Hygrometer der zweiten Claſſe beruhen auf der Eigenſchaft einiger Körper (ſogenannter hygroſkopiſcher Subſtanzen), Waſſerdünſte zu verdichten, das Waſſer aufzunehmen und dadurch eine merkliche Veränderung im Gewichte oder in ihren Dimenſionen zu erleiden. Solche Körper ſind: Haare, Fiſchbein, Knochen, Federkiele (Chimenello's Hygrometer), Darmſeiten (Lambert's Hygrometer), Blaſen von Ratten, Eichhörnchen (Wilſon's Hygrometer), Grannen von verſchiedenen Samen, z. B. vom Rauhhaber (avena fatua), von Erodium gruinum und circonium, Holz, Papier, geglühte Pottaſche, ſalzſaurer Kalk, Schwefelſäure, Kobaltoxyd, Thonſchiefer, Glas ꝛc. (Gilb. Ann. 1. 297 und 314; 3. 1; 2. 26, 75 und 367; 5. 79 und 95; 4. 479; 23. 232; 59. 307.) Unter allen dieſen haben ausgelaugtes Menſchenhaar und gehörig zubereitetes Fiſchbein die meiſte Beachtung erlangt. Für erſteres hat ſich Sauſſure, für letzteres de Luc erklärt.

221. Ein Menſchenhaar hat die Eigenſchaft, ſich durch Aufnahme der Feuchtigkeit aus der Luft zu verlängern und nach Abgabe dieſer Feuchtigkeit wieder ſeine vorige Länge anzunehmen. Soll nun ein ſolches Haar zum Behufe eines Hygrometers eingerichtet werden, ſo muß es vom Kopfe eines lebenden, geſunden Menſchen kommen. Zubereitet wird es durch Kochen in einer ſchwachen Sodalauge, Auswaſchen in reinem Waſſer und Abtrocknen. Ein ſolches Haar wird an einem Ende unbeweglich in eine Zange befeſtigt, am anderen aber am Umfange einer Rolle angebracht, die ſich frei um ihre Axe drehen kann, und ſo angeſpannt, daß es bei der geringſten Verkürzung, die es erleidet, die Rolle merklich dreht. Damit dieſe aber bei der Verlängerung des Haares wieder in ihren vorigen Stand zurückgeführt werde, muß ſie durch ein Gewichtchen nach einer dem Zuge des Haares entgegengeſetzten Richtung bewegt werden. Da die Verlängerung des Haares durch die Feuchtigkeit immer nur ſehr gering iſt, ſo macht man ſie dadurch merklicher, daß man an der Rolle einen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen ſpielt und auf demſelben bei der kleinſten Längenänderung des Haares um ein Merkliches weiter rückt. Dieſer Bogen enthält die Hygrometerſcale, deren äußerſte Punkte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entſprechen. Um den Punkt der größten Feuchtigkeit zu beſtimmen, wird der Apparat in einen, inwendig mit Waſſer befeuchteten und auch mit Waſſer geſperr-

ten Glasrecipienten gebracht und ſo lange darin gelaſſen, bis ſich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Beſtimmung des Punktes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindriſch gebogenes, mit geglühter Pottaſche überzogenes Eiſenblech geſtellt, alles luftdicht geſperrt und in dieſem Raume ſo lange gelaſſen, bis ſich das Haar ſelbſt dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht. Der Punkt der größten Trockenheit wird mit 0, jener der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwiſchenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Auf ſolche Weiſe erhält man das Hygrometer, welches Sauſſure's Namen führt und in Fig. 92 abgebildet iſt.

Die Grade des Haarhygrometers ſtimmen nicht mit den Angaben der Feuchtigkeitsgrade überein, welche aus den Anzeigen des Schwefeläther-hygrometers oder des Thermohygrometers folgen. Verſuche, welche Gay-Luſſac und Melloni angeſtellt haben, um zu erkennen, welcher Feuchtigkeitsgrad jedem Grade des Haarhygrometers entſpreche, gaben von einander bedeutend abweichende Reſultate. Die Angaben verſchiedener Inſtrumente dieſer Art ſtimmen nicht mit einander überein; ja ſelbſt bei einem und demſelben Inſtrumente iſt dieß nach längerer Zeit nicht mehr der Fall. Wahrſcheinlich befolgt jedes Haar in Betreff des Einfluſſes, den die Feuchtigkeit auf ſelbes ausübt, ein anderes Geſetz, ſo daß ſchon von dieſer Seite ein Haarhygrometer ein ſehr ſchwer zu adjuſtirendes Inſtrument iſt; offenbar kommen die Differenzen nur daher, daß es ſehr ſchwer hält, zwei ſolche Inſtrumente in ihren unmittelbaren Anzeigen völlig übereinſtimmend zu machen. Aber ſelbſt abgeſehen von dieſer Schwierigkeit, ſinkt der Werth dieſes Inſtrumentes ſehr, wenn man ſieht, wie nach und nach das Haar ſeine Empfindlichkeit verliert. Es ſtirbt, wie jede organiſche Subſtanz, mit der Zeit ab, wird für Dünſte immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpunkte der Scale rücken einander näher und fallen zuletzt zuſammen. Wenn man auch die Haare einer tauſendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometriſchen Gebrauche geeignet gefunden hat; ſo darf man doch nicht behaupten, daß dieſes für ausgelaugte und geſpannte Haare ein günſtiges Zeugniß gebe. (Zeitſch. 1. 464.)

222. Nebſt den angeführten Hygrometern hat auch noch das Deluc'ſche wenigſtens einen hiſtoriſchen Werth. Es iſt dem Sauſſure-ſchen im Baue ähnlich, nur iſt es kleiner und hat ſtatt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Faſern geſchnittenen Fiſchbeines. Der Punkt der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer beſtimmt, der Punkt der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einſenken des ganzen Fiſchbeines in Waſſer. Die Scale wird wie in Sauſſure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet.

223. Die Antwort auf die Frage: welches der hier beſprochenen Hygrometer verdient den Vorzug? kann heut zu Tage nicht mehr zweifelhaft ſeyn. Das Haar- und Fiſchbeinhygrometer, ſo wie alle Inſtrumente derſelben Art, bleiben immer nur nothdürftige Aushilfsmittel da, wo nichts beſſeres zu Gebote ſteht; ſie ändern ſich mit der Zeit und werden endlich ganz unempfindlich, jedes ſpricht eine andere Sprache, und an Uebereinſtimmung iſt nicht einmal bei neuen Inſtrumenten zu denken. — Schwefelätherhygrometer führen zwar auf eine

ſichere, von jeder hypothetiſchen Vorausſetzung unabhängige Weiſe zum Ziele; fordern aber dagegen jedesmal, wenn man ein Reſultat haben will, einen beſonderen Verſuch, der mit Vorſicht und Aufmerkſamkeit angeſtellt werden muß, und man bedarf dazu einer Flüſſigkeit, des Schwefeläthers, die nicht überall zu haben iſt. Das Thermohygrometer ſcheint allen gerechten Anforderungen zu entſprechen, die man an ein Hygrometer machen kann. Iſt es mit einem Apparate verſehen, der eines der zwei Thermometer ſtets naß erhält, ſo gibt es auf einen Blick jederzeit die zur Berechnung der Feuchtigkeit nöthigen Daten. Ein ſolcher Apparat kann aus einem Fläſchchen beſtehen, welches ſich in der Nähe der zu benetzenden Thermometerkugel befindet und Waſſer enthält, das durch einen Baumwollfaden oder durch den verlängerten Muſſelinüberzug beſtändig, und zwar in ſo kleinen Quantitäten aufgeſaugt wird, daß zwar der Ueberzug der Kugel naß bleibt, aber ſich doch keine Waſſertropfen am unteren Ende desſelben zeigen. Der Einfluß des Luftdruckes iſt nur gering, und kann, wo nicht ſehr große Schärfe Noth thut, mit ſeinem mittleren Werthe eingeführt werden, ſo daß man an einem beſtimmten Orte keine beſondere Barometerbeobachtung braucht; die bereits vorhandenen Tabellen geben ſchnell das geſuchte Reſultat.

Ueber Hygrometer ſiehe: Lambert's Hygrometrie. Augsb. 1774. Sauſſure's Hygrometrie; aus dem Franzöſiſchen. Leipzig, 1784. *Enumeratio atque descriptio hygrometrorum etc. auctore G. Hopſ. Gottingae* 1830.

Dritter Abſchnitt.

Bewegung der Körper (Dynamik).

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere.

224. Alle für unſere Sinne wahrnehmbaren Veränderungen in der Natur ſind Reſultate einer Bewegung. Die Theorie der Bewegungen der Körper oder die Dynamik macht daher einen Haupttheil der Phyſik aus. Unter Bewegung eines räumlichen Dinges verſteht man aber, wie bereits früher (19) angedeutet wurde, eine Veränderung ſeines Ortes, d. i. des Raumes, den es einnimmt, in Bezug auf den umgebenden Raum betrachtet. Das Verharren in demſelben Orte heißt Ruhe. Da jeder Ort ein abſoluter oder relativer iſt, je nachdem er auf den abſoluten unbegrenzten Raum oder auf einen begrenzten Theil desſelben bezogen wird; ſo kann auch jede Bewegung als abſolute oder relative betrachtet werden. Erſtere iſt für uns gar nicht erkennbar; letztere erkennen wir aber aus der Veränderung der Lage gegen ein Syſtem von Körpern, das wir für ruhend annehmen. Um die Bewegung eines Körpers vollſtändig zu überſehen, muß das Verhalten jedes einzelnen Punktes in demſelben bekannt ſeyn. Deßhalb reducirt ſich die Unterſuchung jeder Bewegung zuletzt auf die Betrachtung der Bewegungen von Punkten. Jeder ſich bewegende Punkt beſchreibt eine Linie, welche man die Bahn desſelben nennt. Die Theile derſelben hängen, da das Bewegliche ſie ſtetig durchläuft, ununterbrochen an einander. Je nachdem die Bahn gerade oder krumm iſt, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Bei einer geradlinigen Bewegung gibt die Bahn ſelbſt, oder jedes ihrer Stücke nach der Gegend hin betrachtet, gegen welche der ſich bewegende Punkt ſchreitet, die Richtung der Bewegung an. Erfolgt aber die Bewegung eines Punktes in einer krummen Bahn, ſo wird die Richtung ſeiner Bewegung an jeder Stelle der Bahn durch die zu derſelben gehörende Tangente angezeigt. Die Bewegung eines Körpers oder eines Syſtemes mit einander verbundener Körper heißt progreſſiv (fortſchreitend), wenn zwei mit einander nicht parallele Linien, welche man mit demſelben in Verbindung geſetzt denkt, ihren urſprünglichen Lagen ſtets parallel bleiben. In dieſem Falle beſchreiben alle Punkte der Körper völlig gleiche Bahnen, und die Bewegung eines derſelben kann

die aller übrigen vorſtellen. Bleibt während der Bewegung eines Körpers eine gerade mit demſelben verbundene Linie oder ein mit demſelben verbundener Punkt unbeweglich, ſo ſagt man der Körper drehe ſich um die Gerade oder um den Punkt, und jene heißt die Drehungsaxe, dieſer der Drehungsmittelpunkt. Die Bewegung eines Körpers um einen Punkt läßt ſich im Allgemeinen als eine Folge von Axendrehungen betrachten, wobei die Axe in jedem Augenblicke eine andere iſt; jede beliebige Bewegung aber iſt entweder progreſſiv oder drehend, oder eine Zuſammenſetzung aus beiden.

225. Zu jeder Bewegung wird Zeit erfordert, denn ein ſich bewegender Punkt kann nicht zugleich, ſondern nur nach einander, in zwei verſchiedenen Punkten ſeiner Bahn erſcheinen. Die Zeit iſt eine ſtetige Größe, mithin in das Unendliche theilbar. Wir ſagen, ein Zeittheil ſey einem andern gleich, wenn eine während des erſten vollzogene Bewegung während des andern genau wiederholt werden kann; findet das Gegentheil Statt, ſo heißen die Zeittheile ungleich. Durch unmittelbares Aufeinanderfolgen von zwei, drei, vier ꝛc. gleichen Zeiten entſteht eine Zeit, welche doppelt, dreimal, viermal ꝛc. ſo groß iſt, als jede einzelne derſelben. Deßhalb iſt die Zeit eine meßbare Größe. Wird eine beſtimmte Zeit als Einheit angenommen, ſo läßt ſich jede andere Zeit durch die Zahl ausdrücken, welche das Verhältniß derſelben zu der gewählten Einheit angibt. Der Zeitmeſſung legen wir eine ſpäter näher zu beſtimmende Zeit, welche wir Tag nennen, zu Grunde. Der Tag wird in 24 gleiche Theile, nämlich Stunden, die Stunde in 60 Minuten, die Minute in 60 Secunden u. ſ. w. getheilt. Die zwiſchen der Länge des zurückgelegten Weges und zwiſchen der Zeit beſtehende Beziehung drückt das Geſetz der Bewegung aus, und iſt von der Geſtalt der Bahn unabhängig.

226. Jede Aenderung des Zuſtandes eines materiellen Dinges in Hinſicht auf Bewegung und Ruhe ſetzt eine beſondere, von der Materie verſchiedene Urſache voraus (19), welche entweder activ als bewegende Kraft (20), oder paſſiv als Hinderniß erſcheint, im letzteren Falle aber ſtets auf eine Gegenkraft ſich reduciren läßt. Es gibt in der Natur zweierlei Kräfte, die ſich durch ihre Wirkſamkeit weſentlich von einander unterſcheiden, nämlich ſolche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz ſich ſelbſt überlaſſen (momentane Kräfte), und andere, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert (continuirliche Kräfte). Dieſe letzteren Kräfte ſind wieder von zweifacher Art; einige wirken nämlich immer mit derſelben Stärke und heißen beſtändige Kräfte; andere haben aber bald eine größere, bald eine geringere Intenſität, und werden veränderliche Kräfte genannt. Wenn eine continuirliche Kraft zu wirken aufhört, und ſodann das Bewegliche ſeiner Trägheit überläßt, iſt der Erfolg derſelbe, als ob eine momentane Kraft in dem Augenblicke des Erlöſchens der continuirlichen mit einer angemeſſenen Intenſität gewirkt hätte. Man kann daher was im Folgenden von der Wirkung momentaner Kräfte gelehrt wird, auch auf erſteren Fall beziehen.

A. Bewegung, welche durch momentan wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

227. Wird ein in Bewegung geſetzter materieller Punkt weder von einer Kraft getrieben, noch durch ein Hinderniß gehemmt, ſo kann an ſeiner Bewegung durchaus keine Aenderung vor ſich gehen. Er wird daher einer geraden Linie, welche die Richtung ſeiner Bewegung iſt, folgen, und binnen gleichen Zeiten gleiche Wege zurücklegen. Eine Bewegung, bei welcher binnen gleichen Zeiten gleiche Wege beſchrieben werden, heißt eine gleichförmige, und iſt die einfachſte, welche wir uns vorzuſtellen vermögen. Aus dem Begriffe derſelben folgt, daß, wenn S, s Wege bedeuten, welche während der Zeiten T, t zurückgelegt werden, dieſe Wege ſich verhalten wie die entſprechenden Zeiten oder die Proportion $S:s = T:t$ Statt findet, mithin wegen $\frac{S}{T} = \frac{s}{t}$ der Quotient, den der Zahlwerth eines Weges durch jenen der zugehörigen Zeit getheilt gibt, während der Bewegung unveränderlich iſt. Dieſer Quotient, durch deſſen Größe ſich verſchiedene gleichförmige Bewegungen von einander unterſcheiden, entſpricht der Geſchwindigkeit der Bewegung, auf welche er ſich bezieht. Wir nennen nämlich eine Bewegung um ſo geſchwinder, je größer der binnen einer beſtimmten Zeit zurückgelegte Weg, oder je kleiner die zur Zurücklegung eines beſtimmten Weges erforderliche Zeit iſt. Weil die Einheit der Geſchwindigkeiten willkürlich iſt, kann man obigen Quotienten ſelbſt als den Ausdruck der Geſchwindigkeit gelten laſſen, mithin die Geſchwindigkeit C einer gleichförmigen Bewegung, bei der während der Zeit T der Weg S beſchrieben wird, durch die Formel $C = \frac{S}{T}$ darſtellen, aus welcher $S = CT$ und $T = \frac{S}{C}$ folgt. Da für $T = 1$, $C = S$ wird, ſo iſt der numeriſche Werth der Geſchwindigkeit jenem des während der Zeit 1 zurückgelegten Weges gleich, und da wenn überdieß $S = 1$, auch $C = 1$ wird, ſo iſt die Einheit der Geſchwindigkeiten jene, mit welcher die Längeneinheit während der Zeiteinheit durchlaufen wird. — Hiernach ergibt ſich der Erfolg der Einwirkung einer momentanen Kraft auf ein Bewegliches von ſelbſt. Es erzeugt nämlich eine ſolche Kraft eine geradlinige und gleichförmige Bewegung. Die Geſchwindigkeit, welche das Bewegliche erhält, hängt einerſeits von der Intenſität der Kraft, andererſeits von einer Qualität des Beweglichen ab, welche man die Maſſe desſelben nennt, und die bereits in 20 erklärt worden iſt. Aus den am angeführten Orte vorgetragenen Beſtimmungen folgt, daß, wenn P die Intenſität der momentenen Kraft, M die Maſſe des Beweglichen, und C die Geſchwindigkeit desſelben bedeutet, zwiſchen dieſen drei Größen die Gleichung $P = MC$ beſteht.

228. Wirken zwei momentane Kräfte nach übereinſtimmenden oder nach gerade entgegengeſetzten Richtungen auf ein Bewegliches, ſo wird dieſes ſo in Bewegung geſetzt, als wenn eine einzige Kraft auf dasſelbe gewirkt hätte, welche im erſten Falle der Summe, im zweiten

Falle der Differenz der Kräfte gleich kommt. Das Bewegliche erhält demgemäß eine Geſchwindigkeit, welche im erſten Falle der Summe, im zweiten Falle der Differenz der Geſchwindigkeiten gleich iſt, die beide Kräfte für ſich allein erzeugt hätten, und die Richtung der Bewegung fällt in die Richtungen der Kräfte ſelbſt, und ſtimmt im zweiten Falle mit der Richtung der größeren Kraft überein.

229. Wird ein Bewegliches A (Fig. 9) von zwei momentanen Kräften P, Q getrieben, die nach den Richtungen Ax, Ay wirken, und für ſich allein die Geſchwindigkeiten $C = AC$ und $c = AD$ erzeugt hätten, ſo erfolgt Bewegung nach der Richtung der Diagonale AB des Parallelogramms ADBC mit einer Geſchwindigkeit, deren Größe durch eben dieſe Diagonale angezeigt wird. Denn offenbar wird der Punkt A ſo in Bewegung geſetzt, als ob die Reſultirende R auf denſelben einwirkte. Aber die Kräfte P, Q verhalten ſich wie die Geſchwindigkeiten C und c (20), können alſo durch die Linien AC, AD vorgeſtellt werden. Demnach iſt ADBC das Parallelogramm der Kräfte, und die Reſultirende R hat die Richtung der Diagonale AB, und wird durch dieſe Gerade vorgeſtellt, d. h. es iſt $R : P = AB : AC$. Heißt nun die Geſchwindigkeit, welche R dem Beweglichen A beibringt, x, ſo iſt $R : P = x : C$, folglich auch $x : C = AB : AC$, alſo wegen $C = AC$ nothwendig $x = AB$. Hieraus folgt, daß ſich Geſchwindigkeiten wie Kräfte zuſammenſetzen und zerlegen laſſen.

B. Bewegung, welche durch continuirlich wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

230. Eine ununterbrochen wirkſame Kraft bringt dem Beweglichen die Fähigkeit bei, zu Folge ſeiner Trägheit allein, ohne ferneres Zuthun der Kraft nach ihrer Richtung mit um ſo größerer Geſchwindigkeit fortzuſchreiten, je länger ſie wirkt; ſie bringt demnach, wie man zu ſagen pflegt, eine beſchleunigte Bewegung hervor. Nach dem Geſetze, an welches die Stärke dieſer Kraft gebunden iſt, richtet ſich die Beſchaffenheit der Beſchleunigung, mithin die Natur der Bewegung. Hier kann nur diejenige Bewegung ausführlich betrachtet werden, welche durch eine beſtändige beſchleunigende Kraft hervorgebracht wird. Um in die Bewegung, welche eine ſolche Kraft hervorbringt, eine deutliche Einſicht zu bekommen, denke man ſich die Zeit der Bewegung t in n gleiche Theile von der Dauer $\frac{t}{n}$ getheilt, und ſtelle ſich vor, als wirke die beſchleunigende Kraft nur im Anfange eines jeden ſolchen Zeittheilchens, aber immer mit derſelben Stärke. Man ſieht leicht ein, daß die Bewegung während der Dauer von $\frac{t}{n}$ gleichförmig ſeyn wird, daß aber die Geſchwindigkeit in den auf einander folgenden Zeittheilchen ſtets zunehmen muß. Heißt die im erſten Zeitheilchen erlangte Geſchwindigkeit γ, ſo iſt die im zweiten Zeittheilchen 2γ, im dritten 3γ, im n^{ten} $n\gamma = c$. Je kleiner $\frac{t}{n}$ oder je grö-

ßer n iſt, deſto ſchneller folgen die beſchleunigenden Wirkungen der Kraft auf einander, und deſto mehr nähert ſich die Kraft einer ununterbrochen wirkenden. Die Grenze, welcher ſich n ohne Ende nähert, iſt $n = \infty$, diejenige, welcher die Kraft immer näher kommt, iſt eine ununterbrochene Wirkſamkeit: daher wirkt für $n = \infty$ die Kraft ohne Unterbrechung. In dieſem Falle ſind aber die Geſchwindigkeiten den Zeiten, in denen ſie erlangt wurden, proportionirt. Da eine Bewegung, deren Geſchwindigkeit im geraden Verhältniſſe mit der Zeit wächſt, eine **gleichförmig beſchleunigte** heißt; ſo iſt klar, daß durch eine **beſtändige, ununterbrochen wirkſame Kraft** eine **gleichförmig beſchleunigte** Bewegung hervorgebracht wird. Man darf aber nie vergeſſen, daß das, was hier die Geſchwindigkeit vorſtellt, von dem, was ſie bei der gleichförmigen Bewegung angab, verſchieden ſey. Denn dort war es der Raum, der wirklich in einer Zeiteinheit zurückgelegt wurde, hier iſt es derjenige, welcher in einer Zeiteinheit zurückgelegt würde, wenn von einem Augenblicke an die Kraft zu wirken aufhörte, und ſich das Bewegliche bloß vermöge ſeiner Trägheit fort bewegte.

231. Um die Geſetze der gleichförmig beſchleunigten Bewegung zu entwickeln, bediene man ſich derſelben Vorſtellung wie vorher. Iſt dieſer gemäß s der in der Zeit t zurückgelegte Weg, γ die im erſten Zeittheilchen $\frac{t}{n} = \tau$ erlangte Geſchwindigkeit; ſo iſt der Weg, welcher

im erſten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$,
» zweiten » » » $= 2\gamma\tau$,
» dritten » » » $= 3\gamma\tau$,
» n^{ten} » » » $= n\gamma\tau$,

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ꝛc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1 + 2 + 3$ ꝛc. $\ldots + n)$

$$= (1 + n)\,\frac{n}{2}\cdot\gamma\tau = \frac{n\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2n} + \frac{n^2\gamma\tau}{2}.$$

Aber $n\gamma$ iſt gleich der Endgeſchwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin

$$s = \frac{ct}{2n} + \frac{ct}{2}.$$

In dieſem Ausdrucke iſt das zweite Glied von n unabhängig, das erſte wird deſto kleiner, je größer n iſt, d. i. je ſchneller die Wirkungen der beſchleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert ſich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demſelben Maße, in welchem ſich die beſchleunigende Kraft einer ununterbrochen wirkſamen, oder in welchem ſich die Bewegung einer gleichförmig beſchleunigten nähert. Für die beiderſeitige Grenze der Annäherung iſt daher

$$s = \frac{ct}{2} \quad (1),$$

wo s den Weg vorſtellt, welcher in der Zeit t zurückgelegt wird, der die Endgeſchwindigkeit c entſpricht.

Heißt g die in der erſten Secunde erlangte Geſchwindigkeit; ſo iſt

$$g : c = 1 : t \text{ und } c = gt \quad . \; . \; . \quad (2),$$

$$\text{aus 1 und 2 folgt } s = \frac{gt^2}{2} \quad . \; . \; . \; . \quad (3),$$

$$\text{und hieraus } t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad . \; . \; . \; . \quad (4),$$

$$\text{endlich, aus (2) und (4), } c = \sqrt{2gs} \quad (5).$$

Iſt M die Maſſe des Beweglichen, ſo kann das Produkt $Mg = \frac{Mc}{t}$ als das Maß der beſchleunigenden Kraft angeſehen werden. Den Werth von g nennt man die Acceleration (Beſchleunigung) der Bewegung. Dieſe iſt, wie aus der Formel (3) erhellet, dem doppelten Wege gleich, der in Folge der Kraft, während einer Zeiteinheit vom Anfange der Bewegung an gezählt, zurückgelegt wird.

Aus dieſen Formeln erkennt man, daß bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung 1) die Wege ſich verhalten wie die Quadrate der Zeiten, oder 2) daß die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Wege wie die ungeraden Zahlen wachſen. Heißt nämlich s′ für die Zeit (t — 1), was s für t bedeutet, ſo iſt

$$s - s' = \frac{g}{2}(2t - 1).$$

Da eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung, rückwärts betrachtet, als gleichförmig verzögert erſcheint, d. h. als eine ſolche, bei welcher die Geſchwindigkeit in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Zeit wächſt; ſo ſind in den hier entwickelten Formeln auch die Geſetze dieſer Bewegung enthalten.

232. Aus dem, was früher über die Schwere geſagt wurde, kann man abnehmen, daß ſchwere Körper im freien Falle von Höhen, die gegen den Halbmeſſer der Erde verſchwinden, eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung haben müſſen, vorausgeſetzt, daß die Schwere auf bewegte Körper ſo wirkt, wie auf ruhende. Die Erfahrung lehrt auch wirklich, daß die im freien Falle unter den angegebenen Umſtänden zurückgelegten Wege den Quadraten der Zeiten proportionirt ſind, mithin daß die Bewegung eine gleichförmig beſchleunigte iſt. Dieſe Erfahrung läßt ſich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerſtandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen, aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'ſchen Fallmaſchine bekannt iſt, mittelſt welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Reſultaten der Verſuche, die ſich mit ihr anſtellen laſſen, doch auf die Geſetze beim freien Fall ſchließen kann. Dieſe Vorrichtung beſteht in ihrer einfachſten Geſtalt aus einer fixen Rolle a (Fig. 91), über deren Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme beſtimmter Gewichte hat. Die Rolle iſt an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befeſtiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, meſſen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann.

Iſt M das Gewicht der Rolle, der Schnur und der Schalen, P das Ge-

wicht, welches auf eine der beiden Schalen, $P + p$ dasjenige, welches auf die andere gelegt wird, ferner die Beſchleunigung der Schwere im freien Falle g, an der Atwood'ſchen Fallmaſchine g', ſo hat man

$$(M + 2P + p)\, g' = p\, g$$

das iſt $(M + 2P)\, g' = (g - g')\, p$ und daher $p = \frac{(M + 2P)\, g'}{g - g'}$.

Wollte man, daß eine Schale in der erſten Secunde 1 Zoll zurücklege, mithin die Geſchwindigkeit 2 Zoll erlange, ſo hätte man $g' = 2$ und $p = \frac{M + 2P}{185}$, wenn $g = 31$ F. $= 372$ Z. geſetzt wird. Wegen der drehenden Bewegung der Rolle iſt die Rechnung nur beinahe richtig; eigentlich ſollte man nur ihre halbe Maſſe in Rechnung bringen.

233. Wenn man in den Formeln 232 für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung ſtatt g die Größe der Schwere ſetzt; ſo gelten ſie für den freien Fall, und können daher zur Auflöſung aller dahin gehörigen Aufgaben gebraucht werden. Man muß aber hierbei nie vergeſſen, daß g für Oerter von verſchiedener Breite auch einen verſchiedenen Werth hat. Die Erfahrung lehrt, daß, wenn die Beſchleunigung der Schwere in einer Breite von 45° gleich g, in einer Breite φ aber gleich g' iſt, die Gleichung Statt findet:

$$g' = g\,(1 - 0.002837 \cos. 2\varphi).$$

Für Wien beträgt der Werth von $g = 31.03023$ Fuß.

234. Betrachtet man einen ſchweren Körper auf einer ſchiefen Ebene, ſo findet man, daß er auch durch eine beſtändige und continuirlich wirkende Kraft abwärts getrieben wird, und daher eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung annehmen muß, wenn von allen Hinderniſſen der Bewegung abgeſehen wird, und die Höhe der ſchiefen Ebene nicht gar zu groß iſt. Stellt z. B. ABC (Fig. 92) den Durchſchnitt einer ſchiefen Ebene mit einer auf ihr ſenkrecht ſtehenden, verticalen Ebene vor, iſt AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Baſis, $ACB = a$ ihr Erhöhungswinkel, und endlich G der Schwerpunkt eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe $= g$; ſo kann man GD in die auf AC ſenkrechte GE und in die mit ihr parallele GF zerlegen, wovon erſtere durch den Widerſtand der ſchiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derſelben hervorbringt, und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und FD auf AC ſenkrecht ſteht; ſo iſt $FDG = ACB = a$ und daher $GF = GD \sin a = g . \sin a$, alſo eine Kraft, die für einerlei Werth von a beſtändig iſt, wenn g unverändert bleibt. — Mittelſt der ſchiefen Ebene hat Galiläi zuerſt die Geſetze des Falls ſchwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

235. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung ſtatt g, $g \sin a$, und verſteht unter g den doppelten Fallraum in der erſten Secunde beim freien Falle; ſo gelten die ſo entſtehenden Formeln für den Fall über eine ſchiefe Ebene. Man hat deßhalb, wenn s', t', c' daſſelbe für die ſchiefe Ebene ſind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten:

$c' = g t' . \sin a$. (1), $s' = \frac{g t'^2 . \sin a}{2}$ (2)

$t' = \sqrt{\frac{2 s'}{g . \sin a}}$. (3), $c' = \sqrt{2 g s' . \sin a}$ (5).

236. Wenn ein Körper auf der ſchiefen Ebene (Fig. 93) bis D gekommen iſt, und die Frage entſteht, wie weit er in derſelben Zeit im freien Falle gekommen wäre; ſo errichte man im Punkte D auf A C die ſenkrechte D E, und man hat A E als den in Frage ſtehenden Fallraum. Denn ſetzt man A C B = a und nennt x den geſuchten Weg; ſo wird

$AD = \frac{g t^2}{2} . \sin a$ und $x = \frac{g t^2}{2}$, d. h. $AD = x . \sin a$ oder $\frac{AD}{\sin a} = x$.

Aber wegen E A D = B A C und A D E = A B C iſt auch A E D = a, und daher $\frac{AD}{\sin a} = AE$, mithin $x = AE$.

237. Wendet man dieſen Satz auf den verticalen Durchmeſſer A B (Fig. 94) eines Kreiſes und deſſen Sehnen A C oder B C an; ſo findet man, daß A B, A C und C B gleichzeitige Wege ſind. Daß dieſes von A B und A C gilt, zeigt ſchon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für A B und C B einzuſehen, ziehe man B D ſenkrecht auf C B, C D vertical, und es ſind C B und C D gleichzeitige Wege. Da aber C D = A B, ſo müſſen auch A B und C B gleichzeitige Wege ſeyn. Es iſt klar, daß alle von A und B ausgezogene Sehnen unter einander gleichzeitig ſeyn werden, weil jede einzelne mit A B gleichzeitig iſt. Da durch Drehung des Kreiſes um einen Durchmeſſer eine Kugel beſchrieben wird; ſo ſieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchſten Punkte einer Kugel ausgehen oder im tiefſten Punkte derſelben zuſammentreffen, gleichzeitige Wege ſind.

238. Ein Körper erlangt dieſelbe Geſchwindigkeit, er mag die Länge A C (Fig. 93) einer ſchiefen Ebene, oder ihre Höhe A B zurückgelegt haben; denn es iſt

$$c = \sqrt{2 g . AB}, \; c' = \sqrt{2 g . AC . \sin a},$$

aber $AC . \sin a = AB$, mithin $c = c'$. Eine Folge dieſes Satzes iſt, daß ein Körper beim Fall durch zwei ſchiefe Ebenen von verſchiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch A B und A C (Fig. 95) eine gleiche Geſchwindigkeit erlangt.

239. Sind A B und B C (Fig. 96) zwei ſchiefe Ebenen, die unter dem Winkel A B C zuſammenſtoßen, ſo erleidet ein Körper, der ſich darauf bewegt, in B einen Verluſt an Geſchwindigkeit; denn er ſucht mit der Geſchwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach B E fortzugehen. Wird dieſe Geſchwindigkeit durch B E vorgeſtellt, ſo zerlege man ſie in die auf B C ſenkrechte B H und in die mit ihr parallele B F, und man ſieht leicht ein, daß erſtere durch den Widerſtand von B C aufgehoben wird, und nur mit letzterer der Körper über B C hinabgleitet. Errichtet man E I auf B E ſenkrecht, ſo iſt B E < B I, mithin der Verluſt an Geſchwindigkeit, nämlich B E — B F, kleiner als B I — B F oder F I. Aber die Proportion F I : E I = E I : B I

gibt $FI = \frac{EI^2}{BI}$ und dieſer Ausdruck iſt wieder kleiner als $\frac{EI^2}{BE}$, daher $BE - BF < \frac{EI^2}{BE}$.

Denkt man ſich nun AB und BC als Sehnen einer ſtetig krummen Lini, und läßt man dieſelben unendlich klein werden, wodurch auch der Winkel EBC und mit ihm EI unendlich klein wird, während BE einerlei Größe behält; ſo ſieht man, daß der Verluſt an Geſchwindigkeit in B kleiner ausfällt, als die zweite Potenz einer Größe, die ſelbſt unendlich abnimmt, folglich unendliche Male wiederholt nur einen unendlich kleinen Totaleffekt herbeiführt. Hieraus ergibt ſich die Folge, daß wenn ein Körper über eine ſtetig krumme Bahn AL (Fig. 95) vermöge ſeiner Schwere herabgleitet, er in L mit derſelben Geſchwindigkeit anlangt, welche er im freien Falle von A bis zum Punkte M, der vertical unter A in der durch L gehenden Horizontalebene liegt, bekommen hätte.

240. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo ſich ein Körper auf einer Unterlage von beſtimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeſchrieben iſt, den er zu nehmen hat. Aber die Geſetze der Bewegung, die ein Körper in dieſen Fällen befolgen muß, gelten auch, wenn man ihn auf eine andere Weiſe, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß, an einen ſolchen Weg bindet. So muß ſich ein Körper, der ſich um eine Axe drehen kann, die nicht durch ſeinen Schwerpunkt geht, nach denſelben Geſetzen bewegen, als wenn er ſich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein ſolcher Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunkt gehende und nicht verticale Axe bewegt werden kann, heißt ein Pendel, und zwar ein phyſiſches oder zuſammengeſetztes. Denkt man ſich einen ſchweren Punkt B (Fig. 97) an einer nicht ſchweren und nicht trägen geraden Linie AB, die um A gedreht werden kann; ſo hat man einen Begriff von einem mathematiſchen oder einfachen Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, deſſen Länge den Durchmeſſer der Kugel wenigſtens ſechsmal übertrifft, ohne großen Fehler als einfaches Pendel anſehen.

241. Wird das einfache Pendel AB aus ſeiner verticalen Lage AB nach AC gebracht, und da ſich ſelbſt überlaſſen; ſo wird es durch die Schwere nach B hingetrieben, und beſchreibt den mit AB in derſelben verticalen Ebene liegenden Bogen CB. Um die Kraft zu finden, welche in jedem Augenblicke auf den ſchweren Punkt wirkt, ſey Cx die Richtung der Schwerkraft, CE = g ihre Beſchleunigung, a der Erhöhungs- oder Elongationswinkel CAB, und man zerlege CE in die auf AC ſenkrechte CF, und die mit ihr parallele CD; ſo wird letztere durch den Widerſtand der Linie CA aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE . \sin CEF = g . \sin a$, weil $CEF = ECD = CAB = a$ iſt. Da dieſe Kraft für einerlei Werth von g vom $\sin a$ abhängt, der immer kleiner wird, ſo wie ſich das Pendel der Verticalen AB nähert; ſo iſt die Bewegung von C

bis B eine ungleichförmig beſchleunigte. In B hat das Pendel die größte Geſchwindigkeit, es muß ſich daher vermög der Trägheit weiter bewegen, und zwar wegen des Widerſtandes der Linie AB im Bogen BH, und wegen ungleichförmiger Gegenwirkung der Schwere mit ungleichförmig verzögerter Bewegung. Offenbar wird BH gleich CB ſeyn müſſen. In H tritt wieder derſelbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel ſteigt nach B herab, erhebt ſich wieder nach C, und würde ſo ſeine Schwingungen ohne Unterlaß fortſetzen, wenn keine Hinderniſſe dieſe Bewegung ſtörten.

242. Die Bewegung vom höchſten Punkte der Bahn C (Fig. 97) bis zum höchſten Punkte H an der anderen Seite der Verticalen heißt eine Schwingung. Die Zeit t, in der eine ſolche vollbracht wird, läßt ſich, unter der Vorausſetzung, daß der Ausſchlagwinkel BAC, Fig. 98, ſehr klein iſt, aus der gegebenen Länge $AB = l$ des Pendels, auf folgende Weiſe finden: In der Lage AM des Pendels hat der ſchwere Punkt desſelben eine Geſchwindigkeit erlangt, welche derjenigen gleich iſt, die er im freien Falle von D bis P erhalten hätte, deren Werth daher durch $\sqrt{2g.DP}$ ausgedrückt wird. Mit dieſer beſchreibt er ein nächſtes unendlich kleines Stückchen Mm ſeiner Bahn während der Zeit $\tau = \frac{Mm}{\sqrt{2g.DP}}$. Zieht man mp zu den auf AB ſenkrechten CD, MP parallel, und mn auf MP ſenkrecht, ſo iſt wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke Mmn, AMP

$$Mm : mn \text{ (oder } Pp) = AM : MP \text{ mithin } Mm = \frac{l.Pp}{MP}.$$

Weil aber auch, einer bekannten Eigenſchaft des Kreiſes zu Folge, $MP^2 = BP(2l - BP)$ iſt, wofür man annäherungsweiſe, wegen der Kleinheit des Winkels BAC, weßwegen BD, alſo um ſo mehr BP gegen l ſehr klein iſt, $MP^2 = 2l.BP$ ſetzen darf, ſo hat man

$$\tau = \frac{l.Pp}{\sqrt{2g.2l\ DP.BP}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} . \frac{Pp}{\sqrt{DP.BP}}.$$

Beſchreibt man über BD als Durchmeſſer einen Halbkreis, der MP und mp in K und k ſchneidet, ſo zeigt ſich

$$KP = \sqrt{DP.BP} \text{ mithin } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} . \frac{Pp}{KP}.$$

Zieht man vom Halbirungspunkte E der BD zu K eine Gerade und ku parallel zu BD, ſo gibt die Aehnlichkeit der Dreiecke EKP, Kku, ku (oder Pp) : Kk = KP : EK (oder EB); daher iſt

$$\frac{Pp}{KP} = \frac{Kk}{EB} \text{ folglich } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} . \frac{Kk}{EB}.$$

Theilt man den Bogen CB in unendlich viele Stückchen, wie Mm eines iſt, und nimmt man alle Zeittheile, binnen welchen jedes ſolche Stückchen vom Pendelpunkte durchlaufen wird, zuſammen, ſo erhält man die Dauer der Bewegung durch den Bogen CB, nämlich $\frac{t}{2}$, wenn man $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ mit der Summe aller Werthe multiplicirt, die der Bruch

$\frac{Kk}{EB}$ für jedes erwähnter Theilchen annimmt. Letztere Summe iſt offenbar gleich dem Quotienten des Halbkreiſes DKB, getheilt durch den Halbmeſſer EB, d. h. gleich π; hieraus folgt

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Für einen größeren Ausſchlagwinkel a muß man, wie die höhere Analyſis lehrt, ſetzen:

$$t = \pi \sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{16}\right) \frac{l}{g}}.$$

Iſt $\frac{a^2}{16}$ nicht ſo klein, daß man dieſen Bruch bei dem beabſichtigten Grade der Genauigkeit des Reſultates vernachläßigen darf, ſo muß man nach letzterer Formel rechnen.

Haben für ein anderes Pendel T, L, G dieſelbe Bedeutung, wie am jetzt betrachteten t, l, g; ſo iſt

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{G}},$$

und

$$T : t = \sqrt{\frac{L}{G}} : \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Die Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt eigentlich nur für die Radlinie, bei welcher l dem Durchmeſſer des Erzeugungskreiſes gleichkommt, und t iſt in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausſchlagwinkels, weil dieſe Linie die merkwürdige Eigenſchaft hat, daß kleine und große Bögen in derſelben Zeit zurückgelegt werden.

Es iſt für ſich klar, daß dieſe Formel, und daher auch jeder aus ihr folgende Satz, auf alle Fälle angewendet werden kann, in welchen ein Punkt, welcher während ſeiner Bewegung ſtets in derſelben Entfernung von einem fixen Punkte zu bleiben genöthigt iſt, nicht von der Schwere, ſondern von einer andern, jedoch in ihrem Wirken dieſer analogen Kraft getrieben wird, wofern nur der Punkt von ſeiner Gleichgewichtslage ſich nur wenig entfernt.

243. Heißt n die Anzahl der Schwingungen, welche ein Pendel von der Länge l in einer Zeit $\mathfrak{T}$ macht, N dasſelbe für ein Pendel von der Länge L; ſo iſt, wenn T, t, G und g ihre vorigen Bedeutungen beibehalten, $\mathfrak{T} = NT$ und $\mathfrak{T} = nt$, mithin

$$NT = nt \text{ oder } n : N = T : t,$$

das iſt

$$n : N = \sqrt{\frac{L}{G}} : \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2 : N^2 = \frac{L}{G} : \frac{l}{g}.$$

Für $l = L$ wird $n^2 : N^2 = g : G$; für $G = g$, $n^2 : N^2 = L : l$.

Hat man ein Pendel von der Länge L, das in einer Secunde N Schwingungen macht; ſo findet man die Länge des Secundenpendels l aus

$$N^2 : 1 = l : L, \text{ d. i. } l = N^2 L.$$

Dieſe Geſetze der Pendelſchwingungen ſind wieder ein Geiſtesproduct des berühmten Galiläi. Schon in ſeinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dome zu Piſa darauf aufmerkſam.

244. Wiewohl dieſe Geſetze bloß für ein einfaches Pendel entwickelt ſind, ſo laſſen ſie ſich doch auf ein zuſammengeſetztes anwenden, welches um eine horizontale Axe ſchwingt. Denn ein ſolches zuſammengeſetztes Pendel kann als ein Syſtem einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreiſen ſchwingenden Pendel angeſehen werden. Die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, jene der längeren durch die der kürzeren beſchleunigt, während jene Punkte, die in einer gewiſſen, zur Axe des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, ſo ſchwingen, als ob ſie mit den übrigen Punkten des Pendels gar nicht verbunden wären. Dieſe Punkte heißt man Schwingungspunkte, die Entfernung eines jeden derſelben von der Axe gibt die Länge eines einfachen Pendels, deſſen Schwingungen dieſelbe Dauer haben, wie die des zuſammengeſetzten, welche Länge mithin diejenige iſt, die in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargeſtellten Formeln auf ein zuſammengeſetztes Pendel anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspunkte liegen, heißt die Axe der Schwingungspunkte. Sie hat die merkwürdige Eigenſchaft, daß man ſie mit der Drehungsaxe verwechſeln kann, ſo daß ein Pendel an erſterer aufgehängt, nun die Schwingungspunkte in der vorigen Drehungsaxe hat. Sind an einer Pendelſtange in ungleichen Abſtänden von den Enden zwei Axen ſo angebracht, daß ſie um jede derſelben ſchwingend Secunden ſchlägt; ſo gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Hierauf beruht die Einrichtung des Reverſionspendels. Daß dabei noch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (206) Rückſicht genommen werden müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann die Länge des mit dem zuſammengeſetzten Pendel gleichzeitig ſchwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zuſammengeſetzten aufhängt und es ſo lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig ſchwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungsaxe von der Axe der Schwingungspunkte. Genauer lehrt dieſes die Rechnung.

245. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieſelbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmeſſer. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt, und zugleich einen Zeiger mit ſich herumführt, der die Anzahl der geſchehenen Schwingungen anzeigt. Am ſicherſten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus deſſen Schwingungen man noch leicht ¼ Secunde abnehmen kann.

Bevor man dieſen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man ſich auf eine elende Art mit Waſſer- und Sanduhren behelfen, und aus der Menge des Waſſers oder Sandes, die aus einer Oeffnung eines weiten Gefäßes abgefloſſen, die Zeitdauer abnehmen. Man ſieht wohl auf den erſten Blick, wie unſicher dieſes Verfahren ſeyn mußte, und wie viel Dank wir dem berühmten Huyghens ſchulden, der zuerſt den Gebrauch des Pendels als Zeitmeſſer lehrte. *Christ. Hugenii ho-*

rologium oscillatorium. Paris. 1673. — Auf der Theorie des Pendels beruht auch der muſikaliſche Zeitmeſſer (métronome); das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beſchreibt), und deſſen Anwendung auf Tertienzähler.

246. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmeſſer ſeyn ſoll, ſo muß es von der ausdehnenden Kraft der Wärme ſo wenig als möglich afficirt werden. Deßhalb muß es ſtets in Orten aufbewahrt werden, wo der Temperaturwechſel nicht groß iſt, oder, wo dieſer nicht ganz vermieden werden kann, zu Pendelſtangen ein Material gewählt werden, das ſich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oehl geſottenes und dann überfirnißtes Holz. Am beſten ſetzt man Pendelſtangen aus mehreren Stücken ſo zuſammen, daß ſich die Wirkungen der Wärme gegenſeitig aufheben. Eine ſolche Vorrichtung heißt eine Compenſation.

Eine der einfachſten, ſinnreichſten Compenſationen iſt die ſogenannte Queckſilbercompenſation (Fig. 99). Die Stange A B wird durch die Wärme verlängert, und das Queckſilber C E D ſo ausgedehnt, daß es den Raum C′ E D′ einnimmt. Iſt nun die Queckſilbermenge richtig ausgemittelt, ſo ſenkt ſich der Schwingungspunkt des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben ſo viel, als er ſich wegen Ausdehnung des Queckſilbers erhebt, und die Lage desſelben bleibt beſtändig. Denſelben Zweck ſucht man auch durch die ſogenannten Roſtpendel zu erreichen, deren eines Fig. 100 vorſtellt. A B iſt die Pendelſtange von Eiſen, von demſelben Material ſind auch die Stangen C D und c d, während E F und e f von Zink ſind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt ſo groß iſt, als die des Eiſens; ſo wird, weil das Pendel in G aufgehängt iſt, die Senkung des Schwingungspunktes durch die Ausdehnung der Pendelſtange A B und der Hilfsſtangen C D, c d durch das aufgehoben, um was er ſich bei der Ausdehnung der Zinkſtangen E F, e f hebt. Sehr ſinnreich iſt die von Martin angegebene Compenſation (Fig. 101). A B iſt die Pendelſtange, C D ein Querblech, in C und D mit kugelförmigen Maſſen verſehen, die ſich der A B durch Schrauben nähern oder davon entfernen laſſen. C D beſteht aus zwei wohl an einander geſchraubten Blechen, die ſich in der Wärme verſchieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten iſt. Iſt nun C D bei irgend einer Temperatur gerade; ſo nimmt es bei größerer Wärme die Form C′ D′, bei geringerer die Form C″ D″ an, und erhält ſo den Schwingungspunkt des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zuſammenziehung der Pendelſtange A B, ſtets in derſelben Entfernung von der Axe.

247. Noch wichtiger wird dem Phyſiker das Pendel dadurch, daß es die Geſetze der irdiſchen Schwere, die in 98 aus einem allgemeinen Naturgeſetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge, thut die ſtets unveränderliche Wirkſamkeit der Schwere an einem und demſelben Orte der Erde dar. 3) Der Umſtand, daß Pendel von dem mannigfaltigſten Materiale, wenn ſie nur gleich geſtaltet ſind, gleichzeitig ſchwingen, beweiſet, daß alle Materie gleich ſchwer ſey. 4) Setzt man in

$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $t = 1$, ſo wird $g = \pi^2 l = 9.869601$, mithin iſt auch die Beſchleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien iſt $l = 3.144021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desſelben; ſo nimmt die Schwere ab, wenn man ſich vom Erdmittelpunkte entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das ſchon von Newton aufgeſtellte Geſetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den Aequator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächſt; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden ſchlug, auf der Inſel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu ſchlagen. 7) Sogar die Gegenſeitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erſcheinungen ſichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieſelben abgelenkt wird.

Schon Newton ließ Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochſalz, Waſſer, Weitzen und Holz in gleichen Kreisbogen ſchwingen, und fand, daß ihre Schwingungen gleichzeitig ſeyn; neueſtens hat Beſſel ähnliche Verſuche mit der dieſem ausgezeichneten Forſcher eigenen Genauigkeit angeſtellt, und zwar mit Gold, Silber, Blei, Eiſen, Zink, Meſſing, Marmor, Thon, Quarz, Waſſer, Meteoreiſen und Meteorſtein, aber keine Andeutung erhalten, daß der Satz, alle Körper ſeyen gleich ſchwer, nicht wirklich das Naturgeſetz ſey. (Pogg. Ann. 25. 401.)

Bouguer und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988 Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bouguer berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß ſie, wenn man ſie an der Meeresfläche = 1 ſetzt, zu Quito 0.999249, auf dem Pichincha 0.998816 ſey. — Man kann es als eine durch die Erfahrung beſtätigte Sache anſehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann, durch

$$l = 439.2066 + 2.3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439.2066 die Länge des Sexageſimal-Secundenpendels unter dem Aequator in P. Linien bezeichnet. — Mehr über Pendelbewegungen liefert beſonders Kraft's Mechanik, überſetzt von Steingruber. Dresden, 1787, S. 260—350. Gehler's neues Wörterbuch: Pendel.

C. Bewegung, welche entſteht, wenn eine momentan und eine continuirlich thätige Kraft zugleich auf ein Bewegliches wirken.

248. Die Bewegungen, welche durch gemeinſchaftliche Thätigkeit momentan und continuirlich wirkender Kräfte erzeugt werden, laſſen ſich in ihrem ganzen Umfange keineswegs darſtellen, wenn man nicht zu Lehren der höheren Analyſis ſeine Zuflucht nimmt. Da dieſes hier nicht geſchehen darf, ſo können auch nur einige dieſer Bewegungen abgehandelt werden.

249. Bekommt ein ſchwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß vertical aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geſchwindigkeit = h; ſo wird für den in der Zeit t zurückgeleg-

ten Weg s und die in derſelben Zeit erlangte Geſchwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt^2}{2};\ c = h \pm gt,$$

wo das Zeichen + gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen, — wenn er aufwärts wirkt. Es iſt klar, daß ein Körper im letzteren Falle ſo lange ſteigt, bis ſeine Geſchwindigkeit = o iſt. Heißt t' die Zeit, welche er bis dahin braucht, s' der zurückgelegte Weg, ſo iſt

$$h - gt' = o \text{ oder } \frac{h}{g} = t' \text{ und } s' = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

250. Wird ein ſchwerer Körper horizontal geworfen, ſo beſchreibt er eine Parabel, deren Axe vertical ſteht. Denn wenn er vermöge der Wurfkraft in irgend einer beliebigen Zeit den Weg AB (Fig. 102), und in zwei ſolchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der erſten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG; ſo muß er ſich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der erſten Zeiteinheit vertical unter B in H, nach Verlauf der zweiten vertical unter C in I, nach Verlauf der dritten unter D in K u. ſ. w. befinden, ſo daß BH = AE, CI = AF, DK = AG iſt u. ſ. w.; mithin den Weg AHIK zurücklegen. Es iſt aber

$$EH : FI : GK : \text{ꝛc.} = 1 : 2 : 3 : \text{ꝛc.}, \text{ und daher}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{ꝛc.} = 1 : 4 : 9 : \text{ꝛc.}; \text{ ferner}$$
$$AE : AF : AG : \text{ꝛc.} = 1 : 4 : 9 : \text{ꝛc.}; \text{ mithin}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{ꝛc.} = AE : AF : AG : \text{ꝛc.}$$

eine Eigenſchaft, die nur einer Parabel zukommt, welche AG zur Axe hat.

251. Wird ein Körper ſchief gegen den Horizont geworfen, ſo daß die Richtung Ax des Wurfes mit einer Horizontallinie Ay, die mit Ax in derſelben Verticalebene liegt, einen ſpitzen Winkel xAy, die ſogenannte Elevation des Wurfes, bildet, und iſt c = AB die dem Körper nach der Richtung Ax ertheilte Geſchwindigkeit; ſo läßt ſich dieſe in eine horizontale h = AC und in eine verticale v = AD zerlegen. Vermöge der erſten ſchreitet der Körper parallel mit Ay gleichförmig fort; letztere wird durch die Schwere bekämpft, daher nimmt der Körper parallel mit der verticalen Az eine gleichförmig verzögerte Bewegung an: indem er dieſen beiden Bewegungen Folge leiſtet, beſchreibt er eine Bahn AO, deren höchſten Punkt O er in dem Augenblicke erreicht, in welchem der verticale Theil v ſeiner anfänglichen Geſchwindigkeit durch den Einfluß der Schwere ganz vernichtet worden iſt, ſo daß ihm dort nur mehr der horizontale Theil h dieſer Geſchwindigkeit zukommt. Da er ſich in O in demſelben Zuſtande befindet, als würde er horizontal, nämlich nach Ou mit der Geſchwindigkeit h geworfen, ſo beſchreibt er den abſteigenden Aſt OE einer Parabel, deren Axe die durch O gehende Verticallinie OK iſt (250). Aber offenbar ſtimmt der aufſteigende Aſt AO der Bahn mit OE überein, weil die Schwere den verticalen Theil der Bewegung des Körpers auf dieſelbe Weiſe abwärts beſchleunigt, wie ſie denſelben aufwärts verzögert

hat, weßwegen die verticale Componente der Geſchwindigkeit in gleichen Abſtänden von der OK einerlei Größe und nur entgegengeſetzte Richtungen hat. Es iſt alſo auch hier die Bahn des geworfenen Körpers eine Parabel mit verticaler Axe. Die Entfernung des Durchſchnittspunktes E der Bahn mit dem Horizonte von A, nämlich AE, heißt die Wurfweite. Nennt man die Zeit, während welcher der Körper von A bis E geht, 2 T, ſo iſt offenbar AE = 2 h T (227). Aber es iſt $v = gT$, alſo $T = \frac{h}{g}$; daher $AE = \frac{2hv}{g}$. Das Product hv drückt die Oberfläche des Rechteckes ACBD aus, welche das Doppelte des Dreieckes ACB iſt, mithin wenn man DL = p ſenkrecht auf AB zieht, durch das Product AB.DL = cp gemeſſen wird; es iſt demnach $hv = cp$, alſo die Wurfweite $AE = \frac{2cp}{g}$. Dieſe erhält, bei einerlei Größe der Wurfgeſchwindigkeit c, den größten Werth, wenn p am größten ausfällt. Weil die Peripherie eines über AB als Durchmeſſer verzeichneten Halbkreiſes ſtets durch D geht, ſo ſieht man, daß der größte Werth, deſſen p fähig iſt, dann Statt findet, wenn D in die Mitte des Halbkreiſes ADB fällt, d. h. $p = \frac{1}{2}c$ wird. Damit dieß geſchehe, muß AD = DB, alſo der Winkel DBA = xAy = 45° ſeyn. Dann wird $AE = \frac{c^2}{g}$. Für zwei Elevationen des Wurfes, welche einander zu 90° ergänzen, werden bloß die Werthe von h und v verwechſelt; dieſen Elevationen entſprechen alſo gleiche Wurfweiten. Auch ſieht man leicht, daß wenn xAy = 15° oder = 75° iſt, $p = \frac{1}{4}c$ wird; folglich $AE = \frac{c^2}{2g}$ ſich auf die Hälfte der größten Wurfweite reducirt.

Die Geſetze des Wurfes wurden zuerſt von Galiläi entwickelt.

252. Wenn ein Körper von einer ununterbrochen nach demſelben Punkte wirkenden Kraft gezogen wird, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine ſeitwärts gehende Bewegung erhalten hat; ſo entſteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte, und zwar jene Centripetalkraft, dieſe Tangentialkraft.

253. Es wirke die Centripetalkraft auf A (Fig. 104) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, ſondern daß eine Wirkung auf die andere in der Zeit τ folge, ferner daß A in der Zeit τ durch die Tangentialkraft den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD; ſo kommt A durch die Wirkung beider in derſelben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms ABED iſt. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, ſo würde A in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit τ wieder den Weg EF = AE zurücklegen. Weil aber in E wieder die Wirkſamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher A in τ den Raum EG beſchriebe, wenn es nicht ſchon in E eine Bewegung hätte; ſo muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derſelbe Fall ein,

wie in E, ſo daß es klar genug iſt, daß der Weg AEH keine gerade Linie ſeyn kann. Bei der Vorausſetzung einer ſtoßweiſe erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft wäre der Weg des Beweglichen ein Polygon, das in der Ebene der Kräfte liegt. Dieſes Polygon wird ſich aber einer continuirlich krummen Linie deſto mehr nähern, je kleiner τ iſt. Für $\tau = \frac{1}{\infty}$, d. i. für eine ununterbrochen wirkende Centripetalkraft wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Ihre Beſchaffenheit hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Geſetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunktes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hilfe der höheren Analyſis ohne gar viele Umſchweife gezeigt werden.

254. Die Sectoren ACE und ECH, welche in gleichen Zeiten beſchrieben werden, ſind einander gleich; denn zieht man CF, ſo iſt $\Delta ACE = \Delta ECF$, weil ſie einerlei Höhe und gleiche Baſis haben; ferner $\Delta ECF = \Delta ECH$, weil EC und FH parallel ſind; mithin auch $\Delta ACE = \Delta ECH$. — Umgekehrt, wenn bei einer Bewegung in gleichen Zeiten gleiche Sectoren beſchrieben werden, ſo zielt eine von den Kräften, welche ſie hervorbringen, ſtets nach demſelben Punkte, oder die Bewegung iſt eine Centralbewegung. Denn geſetzt, es werde in der Zeit τ der Sector ACB (Fig. 105) und in gleicher Zeit der Sector BCD beſchrieben. Wenn in B keine Kraft mehr auf das Bewegliche wirkte, ſo müßte es nach der Geraden ABE fortſchreiten, und in der Zeit τ den Weg $BE = AB$ zurücklegen; da es aber nach BD abgelenkt wird, ſo kann man die Größe und Richtung der ablenkenden Kraft finden, wenn man DE zieht und das Parallelogramm BFDE vollendet, wo BF die geſuchte Größe ſeyn wird. Zieht man CE, ſo iſt $\Delta ACB = \Delta BCE$, aber auch vermöge der Vorausſetzung $\Delta ACB = \Delta BCD$, mithin $\Delta BCD = \Delta BEC$. Es haben aber dieſe Dreiecke dieſelbe Baſis CB, folglich müſſen BC und ED parallel ſeyn, welches nur möglich iſt, wenn BF auf BC fällt, und daher das Bewegliche ſtets nach C hingezogen wird.

Dieſer Satz iſt ein ſpecieller Fall des dynamiſchen Princips der Erhaltung der Flächen.

255. Bewegt ſich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 106) vermög Centralkräften, ſo läßt ſich das Verhältniß ſeiner Geſchwindigkeiten in verſchiedenen Punkten A und B ſeiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einem Zeittheilchen, das für ſehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derſelben Zeit von B nach b; ſo ſind Aa und Bb den Geſchwindigkeiten in A und B proportionirt. Zieht man nun nach dem Mittelpunkte C der Centralkräfte die Linien AC, aC und BC, bC, ſo iſt $\Delta ACa = \Delta BCb$. Sind Ax und By Tangenten zu A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By ſenkrecht; ſo iſt

$$\Delta ACa = Aa . \frac{CD}{2},\ \Delta BCb = Bb . \frac{CE}{2},$$ mithin auch

$Aa : Bb = BE : CD$, d. i. die Geſchwindigkeiten verhalten ſich verkehrt

wie die Senkrechten, welche vom Mittelpunkte der Kräfte auf die Tangente des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus erſieht man ſchon, daß die Bewegung in einem Kreiſe, deſſen Mittelpunkt zugleich jener der Centralkräfte iſt, gleichförmig, hingegen in einer Ellipſe, deren ein Brennpunkt Mittelpunkt der Centralkräfte iſt, theils beſchleunigt, theils verzögert ſeyn müſſe.

256. Geſchieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreiſe, ſo iſt $AC = EC = HC$ (Fig. 104), alſo auch $AE = EH$, weil die Sectoren ACE, ECH einerlei Flächen haben, woraus wieder erhellet, daß die Bewegung gleichförmig ſeyn muß. Aber es iſt $AE = EF = GH$, mithin auch $EH = GH$. Es ſind alſo die Dreiecke GEH, CEH beide gleichſchenklig, und wegen des gemeinſchaftlichen Winkels an den Grundlinien, nämlich CEH, ähnlich. Hieraus folgt die Proportion $EG : EH = EH : EC$, welche $EG = \frac{EH^2}{EC}$ gibt. Hierdurch läßt ſich die Größe der Centripetalkraft bei der Bewegung in einem Kreiſe leicht finden. Nennt man nämlich die Geſchwindigkeit des Beweglichen in ſeiner Bahn, d. h. jene mit welcher es die Wege AE, EH, ... jeden während der Zeit τ durchläuft, c; ferner die Geſchwindigkeit, die ihm in Folge der Einwirkung der ſtoßweiſe thätigen Centralkraft im Punkte E zu Theil wird, und vermöge welcher es für ſich allein binnen der Zeit τ den Weg EG zurücklegen würde, γ; endlich den Halbmeſſer des Kreiſes $EC = r$: ſo iſt $EH = c\tau$, $EG = \gamma\tau$, mithin $\gamma\tau = \frac{c^2 \tau^2}{r}$, woraus $\frac{\gamma}{\tau} = \frac{c^2}{r}$ folgt. Bezeichnet man durch g die Acceleration, welche die Centralkraft hervorbringen würde, wenn ſie eine Zeiteinheit hindurch mit der Stärke fortwirkte, die ſie im Punkte E hat, und ſieht man γ als die Geſchwindigkeit an, welche ſie während der Zeit τ, die als unendlich klein betrachtet werden kann, erzeugt, ſo hat man [231 (2)] $\gamma = g\tau$, daher $\frac{\gamma}{\tau} = g$, alſo $g = \frac{c^2}{r}$. Die Größe der Centripetalkraft p wird durch das Product gm ausgedrückt, worin m die Maſſe des Beweglichen angibt, daher iſt

$$p = \frac{c^2 m}{r}$$

die Formel für die Centripetalkraft bei der Kreisbewegung. Dieſelbe Formel läßt ſich auf die Bewegung in jeder anderen Bahn anwenden, wenn r den Krümmungshalbmeſſer für den Punkt vorſtellt, in welchem das Bewegliche ſich befindet. Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf im Kreiſe gemacht wird, t, und das Kreisverhältniß π; ſo iſt

$$c = \frac{2\pi r}{t}, \text{ und daher}$$

$$p = \frac{4\pi^2 r m}{t^2}.$$

Bedeuten M, P, R, T dasſelbe für einen zweiten Kreis: ſo iſt

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}.$$

257. Nimmt man an $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$, ſo erhält man mittelſt

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$$

die Proportion $\frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$, oder

$$T^2 : t^2 = R^3 : r^3,$$

d. h. wenn ſich die Centripetalkräfte gerade verhalten wie die Maſſen und verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen, ſo verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Entfernungen. Dieſes gilt auch umgekehrt; denn ſetzt man voraus:

$T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, ſo hat man mittelſt

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$$

die neue Proportion $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$.

Dieſes Geſetz heißt das Kepler'ſche, weil es der große Kepler nebſt dem 254 erwieſenen, und einem dritten am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretiſchen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unſterblichen Newton.

258. Wenn ein Körper durch Centralkräfte, oder durch eine Kraft und einen Widerſtand gezwungen wird, ſich in einer krummen Bahn zu bewegen; ſo bekommt er, vermöge ſeiner Trägheit, ein Beſtreben, ſich von dieſer Bahn zu entfernen, welches man Fliehkraft oder Schwungkraft nennt. Es ſey z. B. Ax (Fig. 107) eine krumme Bahn, in der ſich ein Körper bewegt, und man nehme der Leichtigkeit wegen an, ſie ſey kreisförmig. Iſt er bis B gelangt, ſo ſucht er wegen ſeiner Trägheit nach der Tangente BC fortzugehen. Geſetzt, er thue dieſes wirklich, und beſchriebe den ſehr kleinen Weg BC, ſo kann man ſich BC in BD und BE zerlegt denken, wovon erſtere faſt in der Richtung des Halbmeſſers liegt, letztere aber faſt mit dem Bogen BE zuſammenfällt. Fährt aber der Körper fort, ſich im Bogen BE zu bewegen, ſo muß ein Widerſtand oder eine Kraft da ſeyn, wodurch BD aufgehoben wird. BD iſt nun der Fliehkraft proportionirt. Bei der Bewegung im Kreiſe iſt ſie der Centripetalkraft gleich und entgegengeſetzt, kann daher auch wie dieſe ausgedrückt werden. Iſt p die Fliehkraft für die Maſſe m, r der Halbmeſſer des Kreiſes, c die Geſchwindigkeit in der Bahn, t die Umlaufszeit; ſo iſt

$$p = \frac{c^2 m}{r} = \frac{4\pi^2 r m}{t^2}.$$

Bedeuten C, M, P, R, T dasſelbe für einen anderen Kreis, ſo wird

$$P = \frac{C^2 M}{R} = \frac{4\pi^2 R M}{T^2},$$

$$P : p = \frac{C^2 M}{R} : \frac{c^2 m}{r} = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}.$$

259. Wenn ſich ein Körper um eine Axe dreht, ſo bekommen alle außer derſelben liegenden Theile ein Beſtreben, ſich nach einer auf ſie

ſenkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines ſolchen Körpers verſchiebbar, ſo kann dadurch eine Aenderung in der Geſtalt desſelben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die ſich um einen ihrer Durchmeſſer dreht, bekommt eine abgeplattete Geſtalt, weil die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe ſenkrechten Kreiſes liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche ſich in einer anderen Ebene befinden. Sind die Theile eines ſich drehenden Körpers nicht verſchiebbar, ſo geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Iſt die Axe vollkommen ſymmetriſch von Maſſe umgeben, ſo wird die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengeſetzte eines anderen Theilchens aufgehoben, und es heben ſich daher ihre Wirkungen auf die Axe auf. Darum heißt dieſe auch eine freie Axe. Von der Art iſt die Axe der Erde, jene unſerer gewöhnlichen Schwungräder ꝛc. Eine ſolche kann während der Dauer der drehenden Bewegung nur durch eine bedeutende Kraft verrückt werden, wenn der Körper auch während des Zuſtandes der Ruhe durch die kleinſte Kraft aus dieſer Lage gebracht werden kann, weil die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu erhalten ſucht, in der es ſich zu drehen begann.

Dieſes läßt ſich beſonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Inſtrumente verſinnlichen, das in Fig. 108 abgebildet iſt. Es beſteht aus drei, unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen A, und aus einer innerhalb des kleinſten derſelben angebrachten maſſiven, um ihre Axe beweglichen Kugel B. An der Axe derſelben iſt eine kleine Rolle c angebracht. Gibt man dem inneren Kreiſe, und dadurch auch der Axe der Kugel eine ſchiefe Lage, befeſtiget an einem Stifte der Rolle eine mit einer Schlinge verſehene feine Schnur, wickelt ſie faſt ganz auf, und ſetzt dann durch einen raſchen Zug an dieſem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine ſchnell drehende Bewegung; ſo kann man das Inſtrumentchen frei herumtragen, und die Axe wird immer nach derſelben Gegend hinſehen; ſelbſt kleine Steinchen, die man auf den Umfang des inneren Ringes herabfallen läßt, bringen es nicht aus ſeiner Lage, wiewohl es im ruhigen Zuſtande durch die kleinſte Berührung verrückt wird. Bringt man am unteren Theile des inneren Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches denſelben, wenn kein Drehen Statt findet, ſo herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical ſteht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; ſo nimmt die Axe nicht alſogleich die verticale Lage an, ſondern bewegt ſich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengeſetzt iſt, und zwar mit einer deſto größeren Geſchwindigkeit, je langſamer die Axendrehung der Kugel wird. (Gilb. Ann. 60. 60.) — Aus der Fliehkraft erklären ſich: das Spitzen naſſer Räder oder der Schleifſteine beim Umdrehen, das heftige Herumſchleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlſteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; Heß's Waſſermaſchine (ein Syſtem offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieſelbe geneigter Röhren, die unten im Waſſer ſtehen, oben aber in eine Rinne ſich münden (Fig. 109); die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erſcheinungen, welche mittelſt der ſogenannten Centralmaſchine hervorgebracht werden). Siehe über Centralbewegung: *Newtoni philosophiae naturalis principia mathe-*

matica. Lond. 1687. *Perpetuis comment. illustrata communi studio P. P. Jacquier et le Seur et D. Calandrini. Genev.* 1793. *Comment. illust. potiſſimum Joan. Teſſanek. Prugae* 1780. *Tom. I.*

D. Stoß der Körper.

260. Wenn ein Körper an eine bewegliche Maſſe ſtößt, ſo erleidet er nicht nur eine Veränderung, ſondern bewirkt auch eine an der geſtoßenen Maſſe. Die Größe und Beſchaffenheit dieſer Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zuſammenſtoßenden Körper, von ihrer Geſchwindigkeit, Maſſe und Geſtalt, ja auch von ihrer Elaſticität und ihrem Aggregationszuſtande ab. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo ſie einander im Anfange des Stoßes berühren, ſenkrecht iſt, ſonſt ſchief; man nennt ihn central, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch deren Schwerpunkt geht, excentriſch, wenn dieſes nicht der Fall iſt. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden ſollen, iſt jeder gerade Stoß auch ein centraler.

261. Wie der Stoß auch beſchaffen ſeyn mag, ſo geht doch immer eine Veränderung in der Bewegung der Körper vor. Da häufig bei einer ſolchen Veränderung die Geſchwindigkeit aller Theile eines Körpers bis zu einem beſtimmten Grade wachſen muß, und dieſes nicht augenblicklich geſchehen kann; ſo wird dazu auch eine gewiſſe Zeit erfordert. Wirkt nun eine Maſſe auf eine andere zu ſchnell, als daß ſich die Geſchwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; ſo werden die unmittelbar getroffenen Punkte des geſtoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müſſen. Iſt der Zuſammenhang der Theile nicht groß genug, um dieſer Gewalt zu widerſtehen, ſo erfolgt eine Trennung. Dieſes erläutern unzählige Erſcheinungen. Z. B. ein Bret, welches ſo aufgeſtellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt ſtehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer ſcharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer ſolchen Kugel durchlöchert, ohne zerſplittert zu werden, während letzteres bei einem ſchwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein ſchwacher Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langſam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu beſtimmtes Felsloch geſchüttet und mit loſem Sande bedeckt, zerſprengt den Fels, wenn es angezündet wird, u. a. m.

262. Sind M und m unelaſtiſche Maſſen, die ſich mit den Geſchwindigkeiten C und c, und zwar gerade und central ſtoßen; ſo iſt MC die Größe der Bewegung der erſten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Maſſe, und es iſt einerlei, ob M mit der Geſchwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen ſich nun M und m gegen einander, und es iſt $MC = mc$,

ſo ruhen beide Maſſen nach dem Stoße. Iſt aber $MC > mc$, ſo bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und dieſe Kraft muß die Maſſe $M + m$ nach der Richtung, welche der Maſſe M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geſchieht dieſes mit der Geſchwindigkeit x, ſo iſt

$$MC - mc = (M + m)\,x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen ſich beide Maſſen in derſelben Richtung, ſo muß die anſtoßende Maſſe M der geſtoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert ſie aber ſelbſt, und zwar ſo lange, bis beide Maſſen mit gleicher Geſchwindigkeit fortſchreiten. Heißt dieſe Geſchwindigkeit x, ſo iſt $MC + mc$ das Maß der Reſultirenden vor dem Stoße, $(M + m)\,x$ dasſelbe nach dem Stoße, und daher $M(C - x)$ der Verluſt an bewegender Kraft bei der Maſſe M, $m(x - c)$ der Gewinn bei der Maſſe m, und

$$M(C - x) = m\,(x - c), \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = 0$ wird $x = \frac{MC}{M + m}$.

Alle drei Fälle ſtellt die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c poſitiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinſtimmt, oder ihr entgegengeſetzt iſt, d. i. je nachdem ſich beide Maſſen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen.

263. Aus den Geſetzen des Stoßes für unelaſtiſche Maſſen laſſen ſich leicht jene ableiten, welche beim Stoße elaſtiſcher Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elaſticität mit in Rechnung zu bringen. Um die Beſchaffenheit dieſes Einfluſſes einzuſehen, betrachte man, was ſich ereignet, wenn ein elaſtiſcher Körper an eine feſte, unbewegliche Wand anſtößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zuſammengedrückt, ſo daß ſein auf der getroffenen Fläche ſenkrechter Durchmeſſer vermindert wird; dabei erleidet er dieſelbe Veränderung, als wenn er feſt wäre, d. i. er verliert ſtufenweiſe ſeine Bewegung. So wie ſeine Geſchwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach; wenn er dieſe ganz eingebüßt hat, fängt er an, ſeine vorige Geſtalt wieder anzunehmen und ſich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung von Neuem, aber nach entgegengeſetzter Richtung, vorausgeſetzt, daß er vollkommen elaſtiſch iſt. Wäre dieſes nicht der Fall, ſo würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

264. Stoßen zwei elaſtiſche Maſſen (Fig. 110) M und m zuſammen, ſo iſt leicht einzuſehen, daß jede für ſich eine Veränderung erleidet, die jener ähnlich iſt, welche vorhin angegeben wurde. Geſetzt die Maſſen M und m ſchreiten vor dem Stoße mit den Geſchwindigkeiten C und c fort, wo c negativ iſt, wenn m eine der M entgegengeſetzte Richtung hat. Berühren ſich beim Beginne des Stoßes die Maſſen in

A, ſo mag BAC eine Ebene ſeyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m ſenkrecht ſteht, und gegen welche der Stoß beider Maſſen gerichtet iſt. Offenbar iſt hier alles ſo wie vorhin (263), nur mit dem Unterſchiede, daß die Ebene BAC ſelbſt beweglich gedacht werden muß. Deßhalb wird auch die Geſchwindigkeit des anſtoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zuſammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in ſo weit verloren gegangen ſeyn, bis ſie der Geſchwindigkeit der Ebene BAC oder des geſtoßenen Körpers gleich kommt; denn in dieſem Falle iſt es gerade ſo, als wenn die anſtoßende Maſſe und die Ebene BAC gegen einander in Ruhe wären. Iſt x die Geſchwindigkeit der Ebene BAC, im Augenblicke der größten Zuſammendrückung beider Maſſen, d. h. ſind bis dahin die Bewegungsgrößen MC und mc der Maſſen M und m in Mx und mx übergegangen, ſo erleidet, in Folge des Ausdehnens, die Maſſe M den bis zur größten Zuſammendrückung eingetretenen Verluſt $M(C-x)$ an Bewegungsgröße noch einmal, während der Maſſe m der Gewinn an Bewegungsgröße $m(x-c)$ noch einmal zu Theil wird. Sind C', c' die Geſchwindigkeiten der Maſſen M, m nach dem Stoße, ſo iſt dieſem gemäß offenbar

$$C' = x - (C-x) = 2x - C,$$
$$c' = x + (x-c) = 2x - c.$$

Aus dieſen Formeln ergeben ſich mehrere wichtige Folgerungen. Setzt man $M = m$, ſo erhält man wegen $x = \frac{C+c}{2}$ (262) $C' = c$ und $c' = C$; d. i. elaſtiſche Körper von gleicher Maſſe vertauſchen durch den Stoß ihre Geſchwindigkeiten.

Ruht die Maſſe m, ſo iſt wegen $x = \frac{MC}{M+m}$ und $c = 0$,

$$C' = \frac{(M-m)C}{M+m}, \quad c' = \frac{2MC}{M+m}.$$

Der Werth von C' iſt nun poſitiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ iſt; daher werden auch die Richtungen der Bewegung des anſtoßenden Körpers für die beiden Fälle einander entgegengeſetzt ſeyn.

Aus den obigen allgemeinen Werthen für C' und c' folgt

$$c' - C' = C - c,$$

d. i. die relative Geſchwindigkeit beider Körper nach dem Stoße iſt der relativen Geſchwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengeſetzt.

Dieſelben Werthe von C' und c' geben:

$$MC'^2 + mc'^2 = 4x^2(M+m) - 4x(MC+mc) + MC^2 + mc^2,$$
$$4x[x(M+m) - MC - mc] + MC^2 + mc^2.$$

Aber es iſt (262)

$$x(M+m) - MC - mc = 0; \text{ daher}$$
$$MC'^2 + mc'^2 = MC^2 + mc^2,$$

d. i. beim Stoße vollkommen elaſtiſcher Körper iſt die Summe der ſogenannten lebendigen Kräfte vor und nach dem Stoße gleich. Letzteres iſt ein beſonderer Fall des ſogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Geſetze des Stoßes wurden faſt gleichzeitig von Wallis, Huyghens und Wren entdeckt.

265. Um die Uebereinſtimmung dieſer Geſetze mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man ſich der ſogenannten Stoßmaſchine, wie ſie Nollet und s'Graveſande angegeben haben. Das Weſentlichſte einer ſolchen Geräthſchaft beſteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD (Fig. 111) hängenden Kugeln, die ſo neben einander hängen, daß ihre Körper B und D einander berühren und ihre Mittelpunkte in derſelben Höhe liegen. Hinter ihnen befindet ſich ein Kreisbogen EF, der von ſeinem unterſten Punkte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt iſt. Wird einer dieſer Körper bis G gehoben und dann frei gelaſſen, ſo erlangt er beim Fallen durch den Bogen GB eine Geſchwindigkeit, die man nach 239 finden, und gleich am Gradbogen ſelbſt ein- für allemal anmerken kann. Zu Verſuchen über den Stoß feſter, unelaſtiſcher Körper, nimmt man Maſſen aus trockenem Thone oder Mehlteig, für elaſtiſche wählt man Elfenbein oder Guajakholz. Hängt man mehrere elaſtiſche Kugeln von gleichem Durchmeſſer neben einander, hebt dann eine gewiſſe Anzahl auf, und läßt ſie zugleich herabfallen, damit ſie an die übrigen anſtoßen; ſo fliegen auf der entgegengeſetzten Seite gerade ſo viele weg, als auf der anderen gehoben wurden. Der Grund dieſer Erſcheinung liegt in 264. Wählt man ſolche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beſtändig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derſelben eine gewiſſe Geſchwindigkeit; ſo muß die zweite dadurch ſchon eine größere Geſchwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und ſo fort bis zur kleinſten und letzten, welche die größte Geſchwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in ſeinem Werke *de motu corporum ex percussione* (*op. posth. Tom. II. pag.* 104) folgendes Beiſpiel an: Hängen 100 elaſtiſche Kugeln neben einander, deren Maſſen wachſen, wie die Zahlen 1, 2, 4, 8 ꝛc., und es ſtoßt die größte mit der Geſchwindigkeit 1 an die nächſtfolgende; ſo muß die letzte mit einer Geſchwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 2338500000000 ausgedrückt wird.

266. Beim ſchiefen Stoß läßt ſich die Wirkung der bewegten Körper immer in zwei auflöſen, wovon eine für ſich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher die erſtere für ſich allein, und findet die Geſchwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, ſetzt dieſe mit der vorhin außer Acht gelaſſenen zuſammen; ſo erhält man die wahre Richtung und Geſchwindigkeit nach dem Stoße. Geſetzt, es bewege ſich eine unelaſtiſche Maſſe nach der Richtung AB (Fig. 112) gegen die unbewegliche Ebene CD, und es ſey ihre Geſchwindigkeit durch BE ausgedrückt. Löſt man BE in die mit CD parallele BF und in die auf ihr ſenkrechte BG auf; ſo ſieht man, daß letztere durch den Widerſtand der Ebene aufgehoben wird, und daß ſich der Körper nach dem Stoße längs der CD mit der Geſchwindigkeit BF fortbewegen muß. Iſt der Körper elaſtiſch, ſo wird im Momente des

Zuſammendrückens B G aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geſchwindigkeit nach entgegengeſetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elaſticität des Körpers gleich B G, widrigenfalls aber kleiner iſt als B G. Iſt nun in der Vorausſetzung des erſteren Falles BH = B G, ſo nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale B I des Parallelogramms BHIF, und man kann leicht beweiſen, daß ABC = IBD iſt. Geſchähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche K B L, ſo müßte dasſelbe wie vorhin geſchehen, wenn C D die Berührungsebene an dem getroffenen Punkte B von KL vorſtellt. — Sind M und m (Fig. 113) Maſſen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, ſo daß ſie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und ſtellen MA und mB die Geſchwindigkeiten der Maſſen vor dem Stoße vor; ſo ziehe man durch die Mittelpunkte der Maſſen M und m die gerade Linie C D, und zerlege M A in die auf C D ſenkrechte M G und in die mit ihr parallele M D, eben ſo m B in m C und m H. Die Kräfte m C und M D bewirken einen geraden Stoß, wozu m H und M G gar nichts beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geſchwindigkeit ME, ſo ſetze man ſie mit M G zuſammen, indem man A G bis F verlängert, ſo daß GF = ME wird, und es iſt MF die Richtung der Maſſe M nach dem Stoße. Auf gleiche Weiſe findet man die Richtung der Maſſe m.

267. Der excentriſche Stoß bewirkt eine fortſchreitende Bewegung, die ſo vor ſich geht, als wäre der Stoß central, überdieß aber noch eine drehende um den Mittelpunkt der Maſſe des geſtoßenen Körpers. Es iſt dieß eine Folge einer allgemeinen Eigenſchaft der Bewegung jedes Syſtemes materieller Punkte, die darin beſteht, daß, wenn Kräfte auf gegebene Maſſen einwirken, der gemeinſchaftliche Schwerpunkt (Mittelpunkt) derſelben ſich ſo bewegt, als ob in ihm alle Maſſen vereinigt wären, und die Kräfte ihren eigenthümlichen Richtungen parallel auf ihn unmittelbar einwirkten. Man nennt dieſen Satz das Princip der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes.

Ueber den Stoß findet man mehr in *s'Gravesande elementa physicae. Leidae* 1742. *Tom I. p.* 254 *et s.* Die erſten Originalaufſätze enthalten: *Walisii tractatus de percussione. Oxon.* 1669. *Hugenii op. posth. Ludg Bat.* 1703. *p.* 369. *et s.*

Zweites Kapitel.

Hinderniſſe der Bewegung und ihre Wirkungen.

268. Die Erfahrung lehrt, daß die Bewegungen in der Natur nicht ſo vor ſich gehen, wie es die bisher erörterten Geſetze verlangen, und es den bewegenden Kräften angemeſſen wäre. Der Grund hievon liegt darin, daß die Tendenz zur Bewegung hindernde Kräfte hervorruft. Die Körper ſind nämlich niemals ſo glatt, daß wenn einer auf

dem andern ſich befindet, ſie von einander ſcharf geſondert bleiben, ſondern es dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein, und ſie haften dann feſt an einander. Soll nun eine Bewegung des einen über den andern eintreten, ſo müſſen die Erhöhungen losgeriſſen oder verſchoben werden, oder der Körper muß ſich heben, um die Erhöhungen ſeiner Unterlage zu überſteigen. Dazu iſt natürlich ein bedeutender Kraftaufwand erforderlich. Dieſer iſt es, der die Größe des Hinderniſſes, das hier durch das Wort Reibung bezeichnet wird, mißt. Jeder Körper befindet ſich in der Regel in der Luft, im Waſſer oder in irgend einer andern Flüſſigkeit, die man ſein Mittel nennt. Soll er in demſelben bewegt werden, ſo muß er das Mittel erſt beſeitigen oder vor ſich hinſchieben, mithin deſſen Widerſtand überwältigen. Auch dazu gehört ein beträchtlicher Kraftaufwand. Endlich wird durch Biegſamkeit, Elaſticität, Adhäſion der Körper u. dgl. noch manches andere Hinderniß begründet. So z. B. wird ein ſchwerer kugelförmiger Körper, in Folge ſeiner Elaſticität, flach gedrückt, und verhält ſich beim Fortrollen einem Polyeder ähnlich. Elaſtiſche, biegſame oder weiche Unterlagen erhalten dieſer ihrer Beſchaffenheit gemäß Vertiefungen, welche dem Fortſchieben der Körper auf ihnen im Wege ſtehen; Stricke widerſtehen, vermöge ihrer Steifheit, wenn ſie gerade ſind, der Biegung, wenn ſie gebogen ſind, der Annahme einer geraden Form. Die Haupthinderniſſe ſind aber die Reibung und der Widerſtand des Mittels, und von dieſen ſoll nun ausführlicher die Rede ſeyn.

269. Die Reibung äußert ſich entweder an der Stelle des Körpers, auf welche die bewegende Kraft unmittelbar einwirkt, und ſie vermindert deßhalb dieſe Kraft um einen Theil, welcher dem Widerſtande an Größe gleichkommt, oder es zeigt ſich die Reibung an einem Orte, der nicht in der Richtung der Kraft liegt, ſo daß die Reibung als eine Laſt auftritt, welche die Kraft mittelſt einer Maſchine, z. B. mittelſt eines Hebelarmes, zu bekämpfen hat, wobei der Verluſt an Kraft geringer ſeyn kann als die Größe der Reibung ſelbſt. Man nennt die Reibung im erſten Falle die abſolute, im zweiten die relative, und ſieht ſtets die Größe der Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, als ihr Maß an.

270. Ueber die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Verſuche angeſtellt. Er bediente ſich dazu einer Vorrichtung, die ſchon früher von Muſſchenbroek, wiewohl unvollkommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmeſſer (Tribometer) heißt. Sie beſteht (Fig. 114) aus einem ſehr feſten, horizontalen Tiſch A, auf dem der Länge nach zwei Holzſtücke a befeſtiget ſind, die über denſelben beiderſeits hinausragen, und auf einer Seite eine Rolle b, auf der anderen einen Haſpel c haben. Ueber dieſe Holzſtücke wird eine möglichſt geglättete Bohle B ſo gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal iſt. Hierauf kommt eine Schleife C zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberſtehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befeſtigen,

welche über die Rolle geht, und eine Wagſchale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig ſind, um die Schleiſe über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelſt einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haſpels die Schleiſe wieder zurückführen zu können. Um Reibungsverſuche unter möglichſt abgeänderten Umſtänden machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verſchiedenem Materiale, beſonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben ſo mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demſelben, bald jedes aus einem anderen Stoffe beſtehen, änderte das Gewicht der Schleiſe und die Menge der Berührungspunkte mit der Unterlage verſchieden ab, ließ ſie bald ungeſchmiert, bald mit Schmiere verſehen über einander gleiten, unterſuchte die Reibung einmal gleich, nachdem die Schleiſe auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit ſpäter, nachdem ſie in Berührung gekommen waren, ſowohl wenn ſie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung ſelbſt, er ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geſchwindigkeit vor ſich gehen, und beſtimmte bei jedem dieſer Verſuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher ſich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte ſeine Verſuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verſchiedenem Materiale drehen ließ, und die Größe der Reibung beſtimmte.

Viele von Coulomb's Vorgängern in der Unterſuchung derſelben Sache, z. B. Amontons, Bilfinger, bedienten ſich dazu einer ſchiefen Ebene mit veränderlichem Erhöhungswinkel. Sie legten den Körper, deſſen Reibung unterſucht werden ſollte, auf dieſe Ebene, und vergrößerten den Neigungswinkel ſo lange, bis der Körper anfing, ſich abwärts zu bewegen. Heißt man dieſen Winkel a, den Reibungsexponenten m, das Gewicht des Körpers P; ſo iſt die Größe des Druckes, den der Körper auf die ſchiefe Ebene ausübt, $P \cos a$, mithin die Größe der Reibung $m P \cos a$, die Kraft, mit welcher er längs der ſchiefen Ebene hinabgetrieben wird, $P \sin a$. Da nun in dem Augenblicke, wo die Bewegung beginnt, die Reibung nahe der Kraft gleich iſt, mit welcher der Körper hinabzugleiten ſucht; ſo hat man

$$P \sin a = m P \cos a, \text{ das iſt: } m = \tan g\, a.$$

271. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende: 1) Die Größe der Reibung iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen, oder ſich mit was immer für einer Geſchwindigkeit bewegen; nur bei faſerigen Körpern nimmt die Reibung ab, wenn der Druck wächſt. 2) Sie wächſt mit der Zeit der Berührung, doch ſo, daß ſie nach einer gewiſſen Zeit den größten Werth erlangt. Dieſes geſchieht bei Metall auf Metall faſt augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erſt nach Tagen. 3) Sie iſt deſto größer, je rauher die ſich berührenden Flächen ſind; doch kann ſie auch eine zu ſtrenge Politur vermehren. Bei mäßiger Glätte iſt der Reibungsexponent $^1/_3$. 4) Bei harten Körpern iſt die Reibung von der Größe der Berührungsfläche

unabhängig, bei weichen und faſerigen wächſt ſie mit der Berührungsfläche. 5) Beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geſchwindigkeit hat, wenn ſie nicht ſehr groß iſt, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, ſo lange ſich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verſchiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächſt die Reibung beinahe in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Geſchwindigkeiten in einer arithmetiſchen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben ſich gewöhnlich ſtärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterſchied Statt. So reibt ſich z. B. Stahl am wenigſten auf Zink, mehr auf Meſſing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meiſten auf Zinn. 8) Cylindriſche und runde Körper reiben ſich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn ſie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt ſich auf Holz minder, wenn ſich die Faſern durchkreuzen, als wenn ſie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung, wenn ſie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verſchiedene Körper thun auch verſchiedene Schmiermittel die beſten Dienſte.

272. Aus dieſen Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, welche uns zu Gebote ſtehen, um die Reibung zu vermindern. Dieſe ſind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, ſo viel es andere Rückſichten zulaſſen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die ſich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der Garnet'ſchen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Uebel, iſt von der anderen zu verſchiedenen Zwecken nützlich. Mittelſt der Reibung ſtehen Körper ſelbſt auf einer ſchiefen Ebene feſt, es laſſen ſich Körper zuſammennageln, zuſammenſchrauben, ſchnelle Bewegungen vermindern, wie dieſes z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablaſſen ſchwerer Fäſſer in Keller geſchieht. Ueber die Reibung ſiehe: *Architectura hydraulica* von Prony (aus dem Franz. von Langsdorf). Frankf. a. M. 1795. I. Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung. Frankf. a. M. 1789. Bevan in den Jahrb. des k. k. polyt. Inſtitutes. Bd. 17.

273. Die Größe des Widerſtandes, den die gewöhnlichen Mittel, die Luft, das Waſſer ꝛc. gegen darin ſich bewegende Körper ausüben, hat man theils durch Verſuche, theils durch Rechnung auszumitteln geſucht. Mit letzterer haben ſich die größten Mathematiker beſchäftiget, ohne jedoch bisher den Gegenſtand völlig erledigt zu haben. Offenbar hängt dieſer Widerſtand von der Größe, Geſtalt und Geſchwindigkeit des bewegten Körpers und von der Dichte und dem Grade der Flüſſigkeit des Mittels ab; allein die Formeln, durch welche man das Geſetz dieſer Abhängigkeit ausgedrückt hat, ſtimmen mit der Er-

fahrung nicht genügend überein. So ſetzt man gewöhnlich, bei übrigens gleichen Umſtänden, den Widerſtand des Mittels dem Quadrate der Geſchwindigkeit des bewegten Körpers proportional. Die Erfahrung harmonirt mit dieſem Geſetze nur bei mittleren Geſchwindigkeiten, bei größeren und bei ſehr kleinen weicht ſie ſehr davon ab, und zwar im erſteren Falle beſonders deßhalb, weil die verdrängte Flüſſigkeit auch nur mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit den vom bewegten Körper verlaſſenen Platz wieder einnimmt, und daher hinter einer ſehr ſchnell bewegten Maſſe gleichſam ein leerer Raum entſteht. Dieſes iſt bei der Bewegung in der Luft der Fall, ſobald die Geſchwindigkeit des bewegten Körpers etwa 800 Fuß überſteigt.

In dem Widerſtande des Mittels liegt der Grund, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt, warum ein Schnellſegler ganz anders eingerichtet ſeyn muß, als ein Schiff, das viel zu faſſen beſtimmt iſt, warum ein Schiff nach der Länge ſo leicht, nach der Breite ſo ſchwer beweglich iſt. Einem Vogel kommt ſein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fiſche eben derſelbe beim Schwimmen ſehr zu Statten; ein ſchnell vorwärts ſchreitender Menſch ſucht ſich, beſonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieſes Vortheiles einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen iſt dieſer Widerſtand beim Fliegen, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallſchirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Unterſuchungen über dieſen Artikel findet man in: *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1817. *p.* 221 *e. s. Euleri scientia navalis. Petr.* 1794. *Tom. I. p.* 201 *e. s.*

274. Die hier erwähnten widerſtehenden Kräfte ſind, wie bereits oben erwähnt wurde, Urſache, daß die Bewegungen der Körper in der Natur oft ſo bedeutend von den Geſetzen abweichen, die früher aufgeſtellt wurden. Wenn in einer Maſchine zwiſchen Kraft und Laſt Gleichgewicht herrſcht, ſo ſoll, der reinen Theorie nach, jeder Zuſatz zur Kraft ſchon eine Bewegung zur Folge haben. Dieſes iſt aber nicht der Fall, und die Urſache dieſer Erſcheinung iſt die Wirkung der widerſtehenden Kräfte. Erſt wenn die Kraft um ſo viel vermehrt worden iſt, daß nach Abzug jenes Theils, der verwendet wird, um der Laſt und den Hinderniſſen das Gleichgewicht zu halten, noch etwas übrig bleibt, erfolgt eine Bewegung. Wiewohl dieſe Kraft, welche man **Ueberwucht** zu nennen pflegt, beſtändig wirkt; ſo bekommt doch die Maſchine keine gleichförmig beſchleunigte Bewegung, ſondern nimmt bald nach Beginn der Bewegung einen gleichförmigen Gang an. Die Urſache liegt meiſtens darin, daß mit zunehmender Geſchwindigkeit auch die widerſtehenden Kräfte wachſen.

275. Wenn eine Kraft momentan auf einen Körper wirkt, ſo bewegt dieſer ſich auch nicht gleichförmig und beſtändig fort, wie es ſeyn müßte, wenn dieſe Bewegung ungehindert vor ſich gehen könnte, ſondern er kommt nach einiger Zeit in Ruhe, nachdem ſeine Geſchwindigkeit ſtufenweiſe abgenommen hat.

276. Der freie Fall ſchwerer Körper iſt auch in den in der Natur vorkommenden Fällen nicht gleichförmig beſchleunigt, ſondern nä-

hert ſich, in einem Mittel von gleicher Dichte, der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne ſie doch je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieſes an fallenden Papierſchnitzchen oder Federn ſehen können. Dem Widerſtande der Luft muß es auch zugeſchrieben werden, daß nicht alle Körper von derſelben Höhe gleich ſchnell zur Erde fallen; der dichtere kann den Widerſtand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demſelben Volum, mithin bei demſelben Widerſtande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat. Indeß wird ſelbſt der dichteſte Körper, wenn man ihn ſehr fein zertheilt hat, nicht mehr den Widerſtand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerſtand mitunter abhängt, in einem geringeren Verhältniſſe abnimmt, als die Maſſe, durch welche er überwältiget werden ſoll. Hierauf beruht das Schlemmen. Die Bewegung eines ſchweren Körpers über eine ſchiefe Ebene muß offenbar noch mehr von der gleichförmig beſchleunigten abweichen, weil zum Widerſtande des Mittels auch noch die Reibung kommt. Ein Pendel, das ohne widerſtehende Kräfte ein wahres mobile perpetuum abgeben könnte, verliert dieſen Vorzug bloß durch die Einwirkung ſolcher Kräfte. Es wird nämlich durch den Widerſtand der Luft und durch die Reibung an der Axe dahin gebracht, daß es, wenn es auch von C (Fig. 97) herabgefallen, nicht wieder bis H ſteigt, und noch weniger wieder bis C zurückkommt. Es beſchreibt vielmehr immer kleinere Bögen, bis es endlich ganz in Ruhe kommt. Man kann aber doch bei zweckmäßiger Einrichtung die Bewegung mehrere Stunden anhaltend machen.

277. Daß die Elemente der Bahn eines geworfenen Körpers anders ausfallen, als die Theorie angibt, beſtätiget die Erfahrung nur gar zu ſehr. Es iſt aber hier ſchwierig alle Hinderniſſe, z. B. die Reibung einer losgeſchoſſenen Kugel an den Wänden des Rohres und den Widerſtand der Luft, gehörig in Rechnung zu bringen; doch kann man leicht einſehen, daß der abſteigende Arm der Wurflinie merklich ſtärker gekrümmt ſeyn müſſe als der aufſteigende, daß die Wurfhöhe und Wurfweite hinter der berechneten zurückbleiben werde, und daß nur bei hinlänglich dichten Maſſen eine mäßige Annäherung der Erfahrung an die Theorie zu erwarten ſey. Auch die größte Wurfweite findet nicht bei einem Elevationswinkel von 45° Statt, ſondern bei einem viel kleineren.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper. (Hydrodynamik.)

A. Fortſchreitende Bewegung.

278. Daß tropfbare Flüſſigkeiten den bewegenden Kräften folgen, und daß, wenn einmal eine Bewegung beſtimmter Art hervorgebracht

iſt, dieſe nach den allgemeinen Bewegungsgeſetzen geſchehen müſſe, iſt für ſich klar, und in ſofern wäre über die Bewegung ſolcher Flüſſigkeiten nichts weiter zu ſagen. Allein die Verſchiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einſeitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüſſigkeiten Bewegungen geſchehen, wo bei feſten Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüſſigkeit entſtehen, die von der Bewegung der ganzen Maſſe verſchieden ſind. Dieſe inneren Bewegungen erſchweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein, und ließen ſie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, welcher ſich die Theorie der Bewegung feſter Körper erfreut. Daher kann auch hier nur das Allgemeinſte entwickelt werden, um ſo mehr, da die weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

279. Verſuche über die Bewegung flüſſiger Körper ſtellt man am beſten mit gläſernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal ſteht. Man muß ſowohl am Boden als an den Seiten in jeder Höhe Oeffnungen von beliebiger Größe anbringen, ſie wieder verſchließen, wohl auch Röhren von verſchiedener Geſtalt und Länge daran ſetzen können.

280. Es ſey ACDB (Fig. 115) ein ſolches Gefäß, mit Waſſer bis CD gefüllt. Sobald EF oder GH geöffnet wird, muß Waſſer herausfließen, und dieſem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche ſinken, und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Maſſe entſtehen. Wenn das vorhergehende Waſſer ſo ſchnell ausweicht, als das darüberſtehende folgen will, ſo erfolgt gar kein Druck der Waſſermaſſen auf einander, und alles geht ſo, wie beim freien Falle vor ſich; fließt aber das vorausgehende Waſſer nicht ſo ſchnell, als das folgende fließen will, ſo drückt dieſe Maſſe auf jene, es entſteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen ſuchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher werden die der Ausflußöffnung zunächſt liegenden Theilchen durch ihre Schwere und durch den Druck der darüber ſtehenden Säule beſchleuniget, und der Ausfluß erfolgt ſchneller, als im freien Falle. Jene Säule drückt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, weil ſie ſelbſt im Sinken begriffen iſt, ſondern deſto weniger, je mehr ſich ihre Geſchwindigkeit der von der Schwere allein bedingten nähert. Man nennt dieſen Druck den hydrodynamiſchen, zum Unterſchiede vom hydroſtatiſchen, welchen ruhende Flüſſigkeiten ausüben. Die Oberfläche des Waſſers bleibt, wenn die Oeffnung EF gegen die Weite des Gefäßes ſehr klein iſt, ſelbſt während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Waſſer an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Dieſe rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüſſigkeit in der Nähe der Oeffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernſtein ins Waſſer gibt, ſo bemerkt man, daß ſie anfangs in verticaler Richtung ſinken, in der Nähe der Oeffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieſelbe einlenken und mit ein-

ander convergiren, die Oeffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht ſeyn.

281. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in einem prismatiſchen Gefäße an der Oberfläche CD ſinkt, muß ſich zu der, mit welcher es durch die Oeffnung EF fließt, verhalten, wie der Querſchnitt EF zum Querſchnitte CD; denn wenn das Waſſer in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen iſt, ſo muß das Volum CLMD dem durch EF in derſelben Zeit fließenden ENOF gleich ſeyn, d. i. $CL.CD = EF.EN$ oder $CL : EN = EF : CD$, wo CL und EN die Geſchwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querſchnitte EF und CD, ſo läßt ſich aus der Geſchwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieſes gewährt bei Verſuchen einen großen Vortheil, indem ſich der Raum, welchen das Waſſer in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man verſieht deßhalb das 279 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollſcale, beobachtet bei Verſuchen das Sinken der Oberfläche CD, und berechnet hieraus die Geſchwindigkeiten in EF.

282. Iſt der Querſchnitt des Waſſerbehälters ſo groß gegen jenen der Ausflußöffnung, daß man das Waſſer im Gefäße während des Ausfluſſes als ruhig anſehen kann; ſo wird das Elementarvolum EGHF (Fig. 116) der Flüſſigkeit durch den hydroſtatiſchen Druck der Säule EIKF beſchleuniget. Iſt g die von der Schwere herrührende Beſchleunigung und ω die durch den Druck der Säule EIKF erzeugte; ſo hat man

$$\omega : g = EIKF : EGHF = EI : EG \text{ oder } \omega = g . \frac{EI}{EG}.$$

Man findet nun die Ausflußgeſchwindigkeit c nach der Formel (5) in 232. Dieſer gemäß wird $c = \sqrt{2\omega . EG} = \sqrt{2g . EI}$, oder wenn man die Druckhöhe $EI = a$ ſetzt, $c = \sqrt{2ga}$. Es iſt demnach die anfängliche Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers ſchon ſo groß, als wäre es vom Waſſerſpiegel bis zur Ausflußöffnung herabgefallen. — Iſt es wegen verhältnißmäßig zu großer Ausflußöffnung nicht geſtattet, das Waſſer im Behälter als ruhig anzuſehen, ſo ſey die Ausflußgeſchwindigkeit $= \gamma$, der Querſchnitt des Behälters $= B$, jener der Ausflußöffnung $= b$. Die Geſchwindigkeit des Waſſers im Behälter iſt nun (281) $= \frac{b}{B}\gamma$. Erlaubt man ſich annäherungsweiſe $\gamma = c - \frac{b}{B}\gamma$ zu ſetzen, ſo hat man

$$\gamma = \frac{Bc}{B + b} = \frac{B}{B + b}\sqrt{2ga}.$$

283. Die ausfließende Waſſerſäule hat nicht einerlei Querſchnitt mit der Ausflußöffnung, ſondern ſie zieht ſich gleich beim Austritte aus dem Behälter zuſammen, und erreicht in einiger Entfernung davon den kleinſten Durchſchnitt. Dieſes rührt ohne Zweifel davon her, daß nicht bloß das verticale ober der Oeffnung ſtehende Waſſer aus-

fließt, ſondern daß ſich auch das ſeitwärts befindliche zum Ausfluſſe hindrängt, und daher in ſchiefer Richtung herabſteigt. Die Größe der Zuſammenziehung des ausfließenden Strahles hängt zum Theile von der Größe der Ausflußöffnung und der Druckhöhe, hauptſächlich aber von der des Bodens ab.

Bei einem dünnen Boden beträgt der Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles $^5/_8$tel von jenem der Oeffnung, bei einem dicken Boden $^{13}/_{16}$tel, oder endlich gar $^{30}/_{31}$ſtel, wenn an der Oeffnung eine kurze nach außen ſich erweiternde Röhre angeſetzt iſt. Nach Schitko iſt der Contractions-Coefficient $= \sqrt{\left(0.38 + 0.62 \frac{b}{B}\right)}$.

284. Das in einer Zeiteinheit ausfließende Waſſervolum V wird erhalten, wenn man in der Formel für die Ausflußgeſchwindigkeit γ an die Stelle von b den kleinſten Querſchnitt des Waſſerſtrahles ſetzt. Dieſer iſt $= \mu b$, wenn μ den Contractions-Coefficienten vorſtellt. Man hat dem gemäß

$$V = \frac{\mu B b}{B + \mu b} \sqrt{2 g a.}$$

Dieſes Waſſervolum fließt wiederholt in jeder Zeiteinheit aus, ſobald der Behälter durch einen Nachfluß beſtändig voll erhalten wird, und die ausfließende Waſſermenge wächſt demnach mit der Dauer des Ausfluſſes im geraden Verhältniſſe. Hat der Behälter keinen Nachfluß, ſo nimmt die Ausflußgeſchwindigkeit fortwährend ab, ſo wie die Quadratwurzel der Druckhöhe abnimmt, und es fließt in einer beſtimmten Zeit nur halb ſo viel Waſſer ab, als wenn der Behälter immer gleich voll geblieben wäre.

Iſt die ganze Seitenwand A B C D (Fig. 118) eines Gefäßes offen, und wird dasſelbe durch einen Nachfluß beſtändig gleich voll erhalten, ſo findet man die Ausflußmenge des Waſſers auf folgende Weiſe: Man denke ſich von jedem Punkte der AC eine horizontale Linie, welche die Geſchwindigkeit des Waſſers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Oeffnung ausdrückt, und verbinde die Endpunkte dieſer Linien. Auf gleiche Weiſe wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Oeffnung entſpricht, und man wird eine krumme Fläche A G K B erhalten, in welcher alle Endpunkte der Linien liegen, welche die Geſchwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieſer Fläche wird paraboliſch ſeyn. Denn iſt CG die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Horizontalen CD, EH die in EF; ſo hat man: $CG = \sqrt{2 g . AC}$, $EH = \sqrt{2 g . AE}$, mithin $CG : EH = \sqrt{AC} : \sqrt{AE}$. Dieſes deutet an, daß AHG eine Parabel ſey, und da dieſes für jeden Punkt in CD und EF gilt, ſo muß auch A G K B die genannte Krümmung haben. — Hiernach iſt man im Stande, den Waſſerkörper ACGKB zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch ABCD fließt; denn es iſt $ACG = \frac{2}{3} AC . CG$, daher $ACGKB = \frac{2}{3} AC . CG . CD = \frac{2}{3} AC . CD \sqrt{2 g . AC}$.

285. Iſt die Ausflußöffnung EF (Fig. 117) an der Seitenwand des Gefäßes angebracht; ſo haben die in verſchiedenen, horizontalen Schichten liegenden Waſſertheile, ſchon wegen ihrer verſchiedenen Entfernung von CD, eine verſchiedene Geſchwindigkeit. Iſt die Oeffnung

gegen dieſe Entfernung klein, ſo kann man die Entfernung ihres Schwerpunktes G von der Oberfläche der Flüſſigkeit CD für die mittlere Druckhöhe anſehen, und die Geſchwindigkeit darnach berechnen, darf aber auch hier nicht den Einfluß der Zuſammenziehung des Strahles überſehen. Die Bewegung des bereits außerhalb des Behälters befindlichen Waſſers iſt aber dann mit der eines ſchweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Waſſer horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb iſt die Bahn eines ſolchen Strahles eine Parabel.

286. Waſſer, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, ſoll mit einer Geſchwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterſchiede des Waſſerſpiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entſpricht. Aber da es nebſt dem Widerſtande, den es beim Austritte aus dem Behälter erfährt, noch einen anderen durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältniſſe des Durchmeſſers der Röhren und im geraden ihrer Länge ſteht, überdieß auch noch von der Geſchwindigkeit des Waſſers abhängt, und wie das Quadrat derſelben wächſt; ſo fällt dieſe Geſchwindigkeit viel kleiner aus, beſonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard, haben dieſe Geſchwindigkeit durch Verſuche und Rechnung auszumitteln geſucht. Unter dieſen hat vorzüglich der letztere den Fall berückſichtiget, wo eine Flüſſigkeit durch ſehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß das Reſultat verſchieden ausfalle, je nachdem die Flüſſigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüſſigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, ſobald der Druck bis zu einer gewiſſen Größe vermindert worden iſt, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geſchwindigkeit verſchiedener Flüſſigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, iſt auch ſelbſt bei einerlei Druck verſchieden, und wird durch Temperaturerhöhung ſehr bedeutend vergrößert. Bei einem Verſuche floß Waſſer von nahe 100° C. aus einer Glasröhre beinahe viermal ſchneller ab, als ſolches, deſſen Temperatur nahe an 0° C. war.

287. Iſt die Ausflußöffnung in einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, ſo ſoll das Waſſer mit einer Geſchwindigkeit hervorſpringen, welche von der Höhe der drückenden Waſſerſäule abhängt, und bis zur Oberfläche des Waſſers im Behälter emporſpringen. Weil aber dieſe Geſchwindigkeit theils durch die Adhäſion an die Ränder der Oeffnung, theils durch die Seitenbewegung der Waſſertheile, ſogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; ſo bleibt der hervorſpringende Strahl ſtark unter dieſer Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hinderniſſe vermindert, um ſo höher wird der Strahl ſteigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb iſt die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindriſchen Röhre, als wenn ſie an einer dünnen Platte angebracht iſt, höher, wenn der Strahl etwas von der ver-

ticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporſteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Waſſerhöhe ein gewiſſes Maß der Oeffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht. Merkwürdig iſt die Geſtalt eines Waſſerſtrahles, der aus der kreisförmigen Oeffnung einer dünnen Wand emporſchießt. Man unterſcheidet da leicht zwei Theile, den äußeren, die Ränder der Oeffnung berührenden, und den inneren. Erſterer bildet einen Rotationskörper von ungleichen Querſchnitten, iſt ruhig und durchſichtig gleich einem Gasſtabe, letzterer unruhig, undurchſichtig, und aus einer Anzahl durch gleiche Zwiſchenräume getrennter Anſchwellungen beſtehend, wovon die größte einen Querſchnitt hat, der jenen der Ausflußöffnung übertrifft. (Pogg. Ann. 29. 353; 31. 124.)

288. Bisher wurde bei der Betrachtung der bewegenden Kraft des Waſſers auf den Luftdruck keine Rückſicht genommen, und dieſes kann auch geſchehen, ſo lange man es mit Behältern zu thun hat, wo der Luftdruck auf den Waſſerſpiegel und die Ausflußöffnung gleich groß iſt. Geſtattet eine zu große Entfernung des Waſſerſpiegels vom Ausguſſe dieſes nicht, ſo nimmt die Druckhöhe um eine Säule von ſolcher Höhe ab, daß ſie dem Uebergewichte des Luftdruckes auf die Ausflußöffnung das Gleichgewicht hält. Auf ſolche Weiſe vermindert der Luftdruck die Menge des in einer beſtimmten Zeit ausfließenden Waſſers. Es gibt aber auch Fälle, wo er dieſe Ausflußmenge vergrößert, wenn nämlich der Ausfluß durch eine nach außen ſich erweiternde Röhre geſchieht. Iſt A (Fig. 119) der Waſſerbehälter, a b c d die Anſatzröhre; ſo ſucht der Waſſerdruck in dem Querſchnitte a b und c d dieſelbe Geſchwindigkeit zu erzeugen. Aber durch die größere Oeffnung c d fließt in einer Zeiteinheit mehr Waſſer als durch a b, und es würde demnach zwiſchen a b und c d ein leerer Raum entſtehen, wenn nicht der Luftdruck ein ſchnelleres Nachfließen durch a b bewirkte und ſo die Ausflußmenge vermehrte. Daß dieſes ſo ſey, erkennt man, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichteten ins Waſſer reichenden Anſatz e anbringt; denn da wird das Waſſer in demſelben aufgeſaugt.

289. Wenn fließendes Waſſer die ganze, der Druckhöhe entſprechende Geſchwindigkeit hat, ſo übt es gar keinen Druck auf den Behälter aus; ſo wie aber ſeine Geſchwindigkeit kleiner wird, als die Druckhöhe verlangt, entſteht ein Druck auf das Gefäß von innen nach außen; überſchreitet die Geſchwindigkeit die der Druckhöhe entſprechende Größe, ſo werden die Gefäßwände gar einwärts gedrückt. Man kann demnach bei einem Gefäße, welches fließendes Waſſer enthält, durch Vermindern, Vermehren oder Aufheben der Geſchwindigkeit des Ausfluſſes den Druck auf die Gefäßwände vermehren, vermindern oder gar der Richtung nach umkehren. Auf einer ſolchen Veränderung des Druckes beruht der ſogenannte Stoßheber.

Der Stoßheber (Fig. 120) beſteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre A, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Waſſergefäße B in Verbindung ſteht, am anderen Ende aber ſich in einen Heronsball C mittelſt einer Klappe a mündet, die ſich vom In-

neren der Röhre nach außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballs hat ſie ein zweites, einwärts ſich öffnendes Ventil b, das ſich durch ſein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Waſſer vom Behälter in die Röhre tritt und ſie anfüllt, ſtoßt es an die letztgenannte Klappe und ſchließt ſie; dadurch verwandelt ſich der hydrauliſche Druck in einen hydroſtatiſchen, und das Waſſer wird in den Stand geſetzt, die Klappe am Heronsball zu öffnen, hineinzudringen, und die Luft daſelbſt zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsball geht daher wieder zurück, und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, beſonders von der äußeren, unterſtützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fängt an in die Höhe zu ſpringen u. ſ. f

290. Fließendes Waſſer übt gegen einen darin feſtgehaltenen Körper einen Druck aus, deſſen Größe ſich beſtimmen läßt. Erfolgt derſelbe nach einer auf die gedrückte Fläche ſenkrechten Richtung, ſo wird er durch den Druck einer Waſſerſäule gemeſſen, deren Baſis dieſer Fläche gleich, und deren Höhe die der Geſchwindigkeit des Waſſers entſprechende Fallhöhe iſt. Heißt demnach die Größe der gedrückten Fläche A, die Geſchwindigkeit des Waſſers c, die Acceleration der Schwere g; mithin die zu c gehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{2g}$, ſo iſt die Größe des Druckes $= \frac{Ac^2}{2g}$. Einen ſchiefen Druck kann man nach 266 behandeln. Iſt die Fläche des Körpers viel größer als der gegen ſelbe ſich bewegende Waſſerſtrahl, ſo fließt das Waſſer ſchon in einiger Entfernung von dieſer Fläche auf einer krummen Bahn ab, und der ſenkrechte Druck iſt nahe doppelt ſo groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf dieſen Geſetzen beruht die Theorie der unterſchlächtigen Waſſerräder, die Form der Brückenpfeiler ꝛc. — Mehr hierüber in hydrauliſchen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eytelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin, 1824. *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1818. Gerſtner's Handbuch der Mechanik. Prag, 1832. 2ter Band.

B. Wellenbewegung.

291. Wellen zeigen ſich in tropfbaren Flüſſigkeiten als Erhöhungen und Vertiefungen, wovon jene über, dieſe unter der Horizontalebene der ruhenden Oberfläche liegen. Erſtere heißen Wellenberge, letztere Wellenthäler. Iſt AC (Fig. 121) eine horizontale Linie, ADB ein Durchſchnitt eines Wellenberges, BEC der eines Wellenthales, und ſchreitet die Welle längs AC fort, ſo heißt AD der Hintertheil, DB der Vordertheil des Wellenberges, BE der Hintertheil, EC der Vordertheil des Wellenthals, C der Anfangspunkt, A der Endpunkt der Welle. Die Entfernung des höchſten Punktes des Wellenberges von der Horizontalen iſt die Höhe des Wellenberges, die Entfernung des tiefſten Punktes des Wellenthales von derſelben Horizontalen die

Tiefe des Wellenthals, die Summe DF + GE aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals die Höhe der ganzen Welle. AB heißt die Breite des Wellenberges, BC die des Wellenthals, AC die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar ſtetig in einander über, es iſt aber die Krümmung eines Wellenberges mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vordertheil eines Wellenberges iſt mit ſeinem Hintertheile gleich geſtaltet, wie man am beſten ſieht, wenn man in einem mit Queckſilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt, und parallel mit der Richtung ihres Fortſchreitens eine mit Mehl beſtaubte Schiefertafel hineinſetzt, damit die Welle den Staub wegnehme und ſich ſelbſt gleichſam abbilde. Die Wellen erſtrecken ſich in ſehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Waſſers über einem ſchlammigen Grunde erſieht, wenn dasſelbe Wellen ſchlägt.

292. Wellen entſtehen, wenn das Gleichgewicht einer Flüſſigkeit theilweiſe oder ungleichförmig aufgehoben wird. So z. B. erregt ein Wind, der längs des Waſſers hinſtreicht, durch bloße Reibung kleine Wellen, größere, wenn ſeine Richtung ſchief iſt. Auf gleiche Weiſe werden Wellen erregt, wenn man einen ſchweren Körper in eine tropfbare Flüſſigkeit fallen läßt, oder mittelſt einer Röhre durch Saugen einen Theil derſelben plötzlich herauszieht, wohl auch, indem man eine Flüſſigkeit durch Stoßen erſchüttert. Unter dieſen Erregungsmitteln ſind die letzteren zur Unterſuchung der Geſetze der Wellenbewegung die geeignetſten, weil die dadurch entſtandenen Wellen ſich ſelbſt überlaſſen bleiben und nicht durch den Einfluß fremder Kräfte geſtört werden.

293. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Waſſer fallen, ſo bildet ſich gleich nach dem Eindringen desſelben an der getroffenen Stelle eine kleine Vertiefung und rings um dieſelbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieſer theilt ſich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach außen fortgeht und eine kreisförmige, ſich beſtändig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunkt der getroffene Punkt iſt, während der andere nach innen fortſchreitet, und die im Mittelpunkte der Welle befindliche Flüſſigkeit in die Höhe treibt. Der ſo aufwärts getriebene Theil ſinkt wieder zurück, und ſpielt dabei dieſelbe Rolle, wie das zuerſt hineingeworfene Steinchen, und ſo kommt es, daß bei hinreichend tiefem Waſſer und einer bedeutenden Fallhöhe des hineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufſteigen des Waſſers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder ſeine eigene, aber immer ſchwächere Welle erregt. Iſt das Waſſer um den Mittelpunkt der Welle ruhig geworden, ſo bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinſte Welle, während ihres Fortſchreitens auch noch wie obiger Wall neue Wellen erregt; denn man ſieht an der Stelle, welche ſie verlaſſen hat, immer wieder eine kleinere Welle entſtehen, die aber nur nach außen fortſchreitet. Durch dieſe Rückwirkung der Wellen

muß offenbar jede durch die ihr zunächſt vorausgehende verſtärkt werden. Bei genauerer Aufmerkſamkeit zeigt die Erfahrung ſelbſt vor der zuerſt entſtandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentriſche, größere und ſchwächere Wellen, bei denen es den Anſchein hat, als wären ſie durch ein ſtoßweiſe immer ſtärker werdendes Ausweichen des Waſſers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Geſagten ſieht man, daß ein momentaner Stoß mehrere Wellen erregt.

294. Die ſo erzeugten Wellen erweitern ſich beſtändig und bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt; ja ſelbſt ſolche Wellen, die beim Entſtehen eine von der Kreisform abweichende Geſtalt haben, nähern ſich dieſer beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortſchreiten auf einen in der Flüſſigkeit ſchwimmenden Körper; ſo hebt und ſenkt ſie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortſchreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Waſſer erregt werden, fließt der Mittelpunkt mit der dem Waſſer eigenen Geſchwindigkeit fort, ohne Störung der Wellenbewegung, wie man leicht ſieht, wenn man ein Stück Holz in ſolches Waſſer wirft; denn dieſes bleibt ſtets im Centrum der erregten Welle und wird dabei ſtromabwärts getragen. Läßt man in einem ſchmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entſtehen, ſo können ſie nur die Geſtalt eines Kreisbogens von beſtimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes entſtandenen Wellen verengen ſich immer mehr und laufen in der Mitte desſelben zuſammen. Unter allen dieſen Umſtänden ſchreitet jeder Punkt einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt dieſe Richtung für jeden Punkt mit dem Radius des Kreiſes zuſammen, der von dieſem Punkte aus gezogen iſt. Beim Fortſchreiten iſt der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthals im Steigen, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthals im Sinken begriffen. Im Steigen des Vordertheils des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortſchreiten bewirkt wird.

295. Die Geſchwindigkeit der Wellen wächſt, nach dem Zeugniſſe der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin auch mit der Größe und Geſchwindigkeit der ſie durch Stoß erzeugenden Maſſe, weil dieſe die Breite und Höhe derſelben beſtimmt. Eine Aenderung im ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeit übt auf die Geſchwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß aus, Verminderung der Tiefe der Flüſſigkeit vermindert die Geſchwindigkeit der Wellen, jedoch bei verſchiedenen Flüſſigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demſelben Verhältniſſe. Hieraus erklärt es ſich, warum Wellen, die ſich ſtets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langſamer werden; warum bei Wellen, die ſich ſtets verengen, das Gegentheil Statt findet; warum ſolche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall iſt, und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, ſtets mit derſelben Geſchwindigkeit fortgehen. Letztere ſind

daher beſonders geeignet zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Wellenbewegung, und auch von den Brüdern Weber, denen wir die meiſte Aufklärung hierüber ſchuldig ſind, benützt werden.

296. Die genaueſte Kenntniß der Wellenbewegung erwirbt man ſich, wenn man ſich über die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, mit denen ſie verbunden iſt, unterrichtet. Um dieſe Bewegung auf dem Erfahrungswege auszumitteln, bedienten ſich die Brüder Weber eines rechtwinkeligen, ſchmalen, aber tiefen und langen Gefäßes mit gläſernen Seitenwänden, das ſie Wellenrinne nannten, füllten es mit Flußwaſſer, das viele darin ſchwebende, feine, feſte Theile enthielt, erregten darin Wellen, und beobachteten dann die Bahnen der ſchwimmenden Körperchen in der Vorausſetzung, daß man dadurch die Bewegung der durch dieſe Körper verdrängten Flüſſigkeit kennen lerne. Auf dieſe Weiſe fanden ſie: 1) Daß ſich die Waſſertheilchen an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüſſigkeit die Geſtalt einer Welle annimmt, in Bahnen bewegen, die in einer verticalen Ebene liegen, und entweder in ſich zurückkehren oder nicht, je nachdem die zuſammengehörigen Wellenberge und Wellenthäler gleich geſtaltet ſind oder nicht. Im erſten Falle ſind die Bahnen elliptiſch. Iſt z. B. A (Fig. 122) ein ſolches Theilchen, Ax eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortſchreiten, ſo macht es im erſten Falle den Weg ACBDA, im zweiten den Weg A′C′B′D′. Während A den über Ax liegenden Theil der Bahn beſchreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, während es den unterhalb derſelben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es iſt daher der verticale Durchmeſſer dieſer Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung ſucceſſiv; aber es ſtoßen nie zwei Theilchen, deren Bahnen ſich ſchneiden, zuſammen. In der Fortpflanzung dieſer Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. 3) Während ein Theilchen der Flüſſigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, ſchreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts, es geht das Wellenthal oder der Wellenberg voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach abwärts oder nach aufwärts beginnen. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen ſeine ganze Bahn einmal zurücklegt, beſtimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die ſchwingende Bewegung der Theilchen erſtreckt ſich bis zu einer ſehr großen Tiefe und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmeſſer deſto kleiner iſt, je tiefer ein Theichen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmeſſer den verticalen deſto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt iſt. In ſehr großen Tiefen haben dieſe Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht ſo geſchwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in eine ſchwingende Bewegung verſetzt

wurde, wiederholt ſeine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit, und ſo viele Umläufe es macht, ſo viele Wellen gehen an jenem Orte vorüber. Es iſt alſo die ſchwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen, und die Welle iſt nur die Geſtalt, welche die Flüſſigkeit an ihrer Oberfläche, vermög der Bewegung ihrer kleinſten Theile, annimmt. Demnach ſchreitet ein und derſelbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüſſigkeit fort, ohne die Flüſſigkeit mit ſich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten ſich hinter einander in ihrer Form, ohne daß ſie in einander übergehen.

Fig. 123 ſtellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daſelbſt befindlichen Theile a b c d e f in der Richtung des beigeſetzten Pfeiles beſchreiben. Wir wollen uns jedes dieſer Theilchen zu einer Zeit denken, wo das erſte a bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und ſich wieder in a befindet, das letzte f aber gerade ſeine Bewegung beginnt. Da iſt nun b nach b′, c nach c′, d nach d′, e nach e′ gekommen, und die Flüſſigkeit hat die Geſtalt der Curve a b′c′d′e′f annehmen müſſen.

297. Von der Bewegung der Flüſſigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle iſt diejenige verſchieden, welche den Theilchen bei der Entſtehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt iſt, bezieht ſich auf den Fall, wo man aus einer flüſſigen Maſſe mittelſt einer Röhre plötzlich eine Säule von beſtimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es beſteht in Folgendem: Es erſtreckt ſich die Verſchiebung der Theilchen ſcheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten ſchnell ab. Die Richtung der Theilchen iſt nach Verhältniß ihrer Lage und Entfernung vom Entſtehungsorte der Bewegung ſehr verſchieden. Die in einer verticalen Linie unter dieſer Stelle liegenden Theilchen bewegen ſich ſenkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengeſetzter Richtung; die ſeitwärts und tiefer liegenden haben eine ſchiefe Bewegung gegen den Urſprung der Bewegung hin; bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt, und zwar deſto mehr, je näher ſie der Oberfläche liegen.

298. Wenn zwei Wellen einander begegnen und ſich durchkreuzen, ſo entſteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, deſſen Höhe faſt der Summe beider gleich iſt. Dasſelbe erfolgt mit zwei ſich durchkreuzenden Wellenthälern. Hiervon überzeugt man ſich, wenn man in der Wellenrinne (296) an den entgegengeſetzten Enden zwei Wellen im Queckſilber erregt, und den bei ihrer Durchkreuzung entſtandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelſt einer beſtaubten Schiefertafel ſich (nach 291) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen ſich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander ſo, daß es den Anſchein hat, als wären die Wellen ungeſtört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben ſo großen Wellenberge einer anderen Welle zuſammen, ſo heben ſich beide an der Durchkreuzungsſtelle auf.

Eine recht artige Erſcheinung bringt die Durchkreuzung der Wellen hervor, die man im Queckſilber an zwei einander nahen Stellen a und b mittelſt hineinfallender Tropfen erregt, und welche ſich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verſtärken. Sowohl die Stellen, wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperboliſch gekrümmten Linien. Fig. 124 ſtellt dieſe Erſcheinung vor. Man erkennt die Streifen, wo ſich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verſtärken, wenn man ſchief auf die Figur nach ihrer Länge hinſieht.

299. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen; ſo findet man, daß ſich die elliptiſchen Bahnen, welche ſie vor der Durchkreuzung beſchreiben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchſten Punkte eines durch Durchkreuzung entſtandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber ſchief gegen dieſen Punkt hin gerichtet ſeyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei jener zweier Wellenthäler abwärts; dieſe geradlinige Bahn iſt immer größer als der verticale Durchmeſſer der vor der Durchkreuzung beſtehenden, elliptiſchen Bahnen. Bei der Durchkreuzung ſcheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen ſich aber die Wellen mit derſelben Geſchwindigkeit fort, als hätten ſie ſich nicht durchkreuzet.

300. Wenn eine Welle eine feſte Wand trifft, ſo wird ſie **reflectirt**. Der einfachſte Fall dieſes Phänomens iſt der, wo eine kreisförmige, allenthalben gleich hohe und gleich breite Welle eine Wand ſenkrecht trifft, d. i. ſo, das die auf dem zuerſt anſtoßenden Punkte errichtete Normale zugleich auf der Wand ſenkrecht ſteht. In dieſem Falle entſteht durch Reflexion eine neue Welle, die ſich von der directen dadurch unterſcheidet, daß ſie gegen die Wand concav iſt und daher ihren Mittelpunkt jenſeits derſelben hat, wenn die auffallende gegen dieſelbe convex war, mithin ihren Mittelpunkt diesſeits der Wand hatte. Wenn eine kreisförmige Welle ſchief an eine Wand anſtößt; ſo kann man, falls ſie nach der Reflexion ihre Kreisform beibehält, die Lage der reflectirten Welle nach dem Geſetze finden, daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ſey; verliert aber die Welle bei der Reflexion ihre Kreisform, ſo wird nach dieſem Geſetze die Lage der reflectirten Welle nur beiläufig richtig beſtimmt.

Man kann ſich vom ganzen Hergange der Sache beim ſenkrechten Stoß einer Welle eine deutliche Vorſtellung machen, wenn man ſich die Welle a b c d e (Fig. 125, α) denkt, die an das Hinderniß A B ſenkrecht anſtößt. Nach Verlauf eines Zeittheilchens nach dem Beginne des Stoßes, in welchem die Welle einen Weg $\frac{ac}{2} = \frac{ce}{2}$ zurückgelegt hat, iſt c d an die Stelle von d e gekommen, und d e hat ſich in einen von A B weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch iſt c d auf das Doppelte an Höhe gewachſen, hat aber um eben ſo viel an Breite abgenommen, wie β zeigt. Nach einer doppelt ſo langen Zeit iſt c in e angelangt, ſo daß von der Welle nur a b c (γ) vorhanden wäre, wenn

keine Reflexion erfolgte; aber es hat ſich zugleich der Wellenberg c d e (α) in einen von A B weggehenden c d a (γ) verwandelt; a b c und c d a heben einander auf, und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüſſigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer iſt a b an die Stelle von b c gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück b c ſo, daß dadurch das Wellenthal doppelt ſo tief und nur halb ſo breit wird, und das Ganze wie die Zeichnung in δ ausſieht. Endlich nach Verlauf von 4 ſolchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage a b c d e (ι), und die Richtung des beigeſetzten Pfeiles. — Wenn man in ein cylindriſches Gefäß reines Queckſilber gibt, und durch einen feinen Trichter noch mehr davon nahe am Rande des Gefäßes zufließen läßt; ſo kann man deutlich ſehen, wie ſich in der Nähe des entgegengeſetzten Randes, durch Zuſammentreffen reflectirter Wellen, gleichſam ein zweiter Wellenmittelpunkt bildet.

301. Bei der Reflexion einer Welle erleiden die Bahnen der Flüſſigkeitstheilchen dieſelbe Aenderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (299), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Koſten der horizontalen verſtärkt, ſo daß die elliptiſchen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

302. Wenn eine Welle an eine Wand mit einer Oeffnung anſtoßt, ſo erleidet ſie eine eigene Modification, welche Beugung genannt wird. Iſt A B (Fig. 126) eine Oeffnung in einem Brete, a der Mittelpunkt einer kreisförmigen Welle; ſo wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Oeffnung trifft, ſich erweitern, als wäre die Welle gar nicht unterbrochen; dasſelbe thut auch der Theil A B, welcher durch die Oeffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieſer Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortſchreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, ſondern ſich gegen die Wände zu Kreisbögen b c und d e umbeugen, deren Mittelpunkte in A und B liegen. Dieſe Bögen unterhalten ſtets die Verbindung zwiſchen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Die durch Beugung entſtandenen, kreisförmigen Wellen b c und d e kreuzen ſich bei ihrer Erweiterung und verſtärken ſich an einigen Stellen, ſchwächen ſich an anderen oder heben ſich gar auf. Die auf einerlei Art entſtandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann ſowohl dieſes, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich ſehen, wenn man ein etwa ½ Zoll dickes, mit einer Oeffnung verſehenes Bret in Queckſilber taucht, und in dieſes regelmäßige Queckſilbertropfen fallen läßt. Die Erſcheinung hat völlige Aehnlichkeit mit Fig. 124.

303. In die Reihe der Beugungsphänomene gehören auch die Wirbel, welche ſich bilden, wenn Waſſer an ein Bret anſtoßt, aber zu beiden Seiten desſelben vorbeifließen kann. Dieſe Wirbel (Fig. 127) ſind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet, und können ſich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verſchlingen.

304. Wenn man in einem regelmäßigen Gefäße in gewiſſen Zeitabſchnitten gleich breite Wellen erregt, ſo können die directen Wellenthäler den reflectirten und eben ſo die directen Wellenberge den zurückgeworfenen mit faſt gleicher Kraft begegnen, ſich an ſymmetriſch an-

geordneten Stellen mehrfach durchkreuzen, und ſo gleichweit von einander abſtehende Wellenthäler und Wellenberge bilden, die wegen der entgegengeſetzten Richtung der ſich begegnenden Wellen nicht mehr von einem Orte zum anderen fortrücken, ſondern von denen ſich immer nur ein Berg in ein Thal verwandelt und umgekehrt. Die Grenzen zwiſchen beiden fallen daher immer an dieſelbe Stelle und heißen **Schwingungsknoten**. Dieſe Schwingung iſt daher von der vorhin betrachteten wohl zu unterſcheiden, und kann füglich **ſtehende** Schwingung genannt werden, während die vorige den Namen der **fortſchreitenden** verdient. Die Breite einer ſtehenden Welle iſt nur halb ſo groß als jene der fortſchreitenden, aus der ſie entſtanden iſt. Ein Beiſpiel einer ſolchen ſtehenden Schwingung kann man im Queckſilber ſehen, das ſich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in deſſen Mitte man tactmäßig einen Körper ſenkrecht eintaucht und wieder herauszieht.

Um vom Entſtehen der ſtehenden Schwingung eine deutliche Vorſtellung zu bekommen, denke man ſich A B (Fig. 128) als die Länge eines ſchmalen, mit Waſſer gefüllten Kaſtens, und zugleich als den Durchſchnitt der Oberfläche des ruhenden Waſſers mit einer verticalen Ebene. Es werde in A eine Welle erregt, die gegen B fortſchreitet und eine der Länge des Gefäßes gleiche Breite hat. So wie ſie ganz gebildet iſt und in B anlangt, folgt ihr eine zweite eben ſo beſchaffene, dieſer auf gleiche Weiſe eine dritte u. ſ. w. Iſt t die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Breite gleich iſt; ſo hat ſich die erſte Welle mit ihrem Wellenberge c d B und ihrem Wellenthale A b c nach 4 t ganz gebildet, und trifft am Ende dieſer Zeit mit dem Endpunkte B die Wand des Gefäßes. Nach 5 t hat der Wellenberg die halbe Breite durch ſein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, ſo, daß nun dieſer halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden iſt (α). Nach 6 t füllt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg das Wellenthal A b c ganz aus, und bildet an ſeiner Stelle eine ebene Fläche, es iſt aber von der zweiten Welle der ganze Berg gebildet (β). Nach 7 t gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der erſten Welle mit dem directen der zweiten einen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der erſten Welle hat die halbe Breite eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengeſetzten Seite befindet ſich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 8 t hat ſich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der erſten Welle, und der reflectirte Wellenberg der erſten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar ſich aufhebt, ſo beſteht in dieſem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüſſigkeit (δ). Nach 9 t hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Breite verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieſer Welle gibt zunächſt an jenem mit dem reflectirten Wellenthale der erſten Welle ein doppelt ſo tiefes Wellenthal, und an dieſes ſchließt ſich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der erſten Welle eine doppelte Höhe erlangt, ſo daß nun die vorhandenen Wellen ganz ſymmetriſch angeordnet ſind (ε). Nach 10 t ſind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgegangen, und nehmen neben einander die ganze Länge des Gefäßes ein, zugleich

fällt in eines dieſer Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüſſigkeit wieder eben, wie in δ (ζ). Nach 11 t hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Breite verloren, daran ſchließt ſich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der erſten reflectirten Welle mit dem halben Thale der directen dritten an, ſo daß nun wieder die Wellenform ganz ſymmetriſch iſt und eine der ε entgegengeſetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß ſich immer nur die drei Formen ε, ζ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg mit einem Wellenthale wechſelt, ohne fortzuſchreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften beſteht, wovon zuletzt beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen ſind. — Hätten die Wellen nicht die Länge des ganzen Gefäßes, ſondern nur die eines aliquoten Theiles desſelben, ſo entſtänden mehrere Schwingungsknoten; man kann ſich aber die Sache auf gleiche Weiſe deutlich machen, wie vorhin geſchehen iſt. (Als Hauptquelle hierüber iſt anzuſehen: Wellenlehre, auf Experimente gegründet von Ernſt und Wilh. Weber. Leipzig, 1825.)

Viertes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper (Aërodynamik).

305. Die Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Flüſſigkeiten ſind den für tropfbare Körper aufgeſtellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch ſchwieriger zu entwickeln als dieſe und minder leicht einer populären Darſtellung fähig. — Strömt ein Gas aus einer Oeffnung, welche an der dünnen Wand ſeines Behälters angebracht iſt, in einen luftleeren Raum heraus; ſo wird ſeine Geſchwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterſchiede, daß die dieſer Geſchwindigkeit entſprechende Druckhöhe nicht die der wirklichen Gasſäule iſt, ſondern jene, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmaſſe auf die Dichte reducirte, welche ſie an der Ausflußöffnung hat. Strömt z. B. atm. Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; ſo muß man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerſtand b, die Dichte D des Queckſilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, ſo iſt $d:D = b:x$ und $x = \frac{Db}{d}$, und daher die Geſchwindigkeit, mit welcher die Luft ausſtrömt, $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Dieſe Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeſchwindigkeit in einen leeren Raum für jedes andere Gas an, deſſen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b ſteht. Es verhalten ſich daher dieſe Geſchwindigkeiten bei verſchiedenen Gaſen verkehrt, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichten. Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinſtrömt, läßt ſich nicht auf ſo einfache

Weiſe beſtimmen. Indeß kann man doch die Differenz der Druckhöhen, deren eine dem ausſtrömenden Gaſe, die andere demjenigen entſpricht, in welches jenes hineinſtrömt, als die Größe anſehen, welche ſtatt x in obige Formel geſetzt, die geſuchte Geſchwindigkeit gibt. Ein Gas, das in den bereits von einem anderen Gaſe erfüllten Raum ſtrömt, hat eine kleinere Geſchwindigkeit, als wenn jener Raum leer wäre (209), doch wird dieſe Verminderung der Geſchwindigkeit nicht durch eine poſitive Gegenwirkung des Gaſes hervorgebracht, ſondern nur durch Verengung der Ausſtrömungsöffnung.

306. Wenn man die Reſultate dieſer Berechnungen mit den Ergebniſſen directer Verſuche vergleicht, wie ſie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuiſſon *(Ann. de Ch.* 34. 380*)* u. a. angeſtellt haben; ſo findet man, daß jene eine viel größere Geſchwindigkeit geben als dieſe. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geſchwindigkeit nur 0.52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht iſt, wächſt aber auf 0.6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen, cylindriſchen Röhre vertauſcht. Eine coniſche Röhre gibt eine noch größere Geſchwindigkeit; die größte eine ſolche, deren äußere Durchmeſſer ſich wie 1 : 2 verhalten, und deren Länge den Durchmeſſer fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Urſache dieſer Differenz zwiſchen der berechneten und der durch Verſuche gefundenen Geſchwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zuſammenziehung des Luftſtrahles, welche der des Waſſerſtrahles (283) ähnlich iſt. D'Aubuiſſon hat den Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0.65, bei einer cylindriſchen Anſatzröhre = 0.93, bei einer coniſchen = 0.95 von dem Querſchnitte der Oeffnung gefunden.

307. Auch die Bewegung der Gaſe in Röhrenleitungen ſtimmt mit der des Waſſers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gaſen Verſuche hierüber angeſtellt *(Mém. de l'Acad.* 5. 383*)*, und dabei gefunden, daß atmoſphäriſche Luft und Kohlenwaſſerſtoffgas, ungeachtet ihrer verſchiedenen Dichte, ſich in Röhren nach demſelben Geſetze bewegen und denſelben Widerſtand erleiden, und daß dieſer Widerſtand dem Quadrate ihrer mittleren Geſchwindigkeit proportionirt iſt. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, ſtehen im geraden Verhältniſſe mit dem Drucke, den ſie im Gasbehälter erleiden, und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren. Nur beim Ausfluß aus capillaren Oeffnungen zeigen Gaſe beſondere Eigenthümlichkeiten. Nach Faraday's Verſuchen *(Quart. Journ of sc.* 3. 354; 7. 106 und Pogg. Ann. 28. 355*)* ſtrömt bei hohem Drucke ein beſtimmtes Volum Waſſerſtoffgas ſchneller aus, als öhlbildendes Gas, bei niederem aber findet das Gegentheil Statt, wenn der Ausfluß durch enge Röhrchen, dieſe mögen von Glas oder Metall ſeyn, geſchieht. Beim Ausfluß aus feinen, an Papier, Platinblechen ꝛc. gemachten Ritzen und Löchern findet dieſe Verſchiedenheit nicht Statt, ſie zeigt ſich aber deſto mehr, je langſamer die Gaſe ausſtrömen. Dieſes ſcheint nicht bloß von der Ver-

ſchiedenheit der Dichte der Gaſe abzuhängen, ſondern von irgend einer anderen mechaniſchen Eigenſchaft derſelben.

308. Wenn Luft aus einem Gefäße ausſtrömt, ſo ſucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberſtehende Wand dieſelbe fortzubewegen. Iſt das Gefäß leicht nach der Richtung dieſes Druckes beweglich, ſo kann man ſich auch durch die wirklich eintretende Bewegung vom Daſeyn eines ſolchen Druckes überzeugen. Das Zurückſtoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der ſogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen ꝛc., beruht darauf.

309. Die Urſache, welche in einer Luftmaſſe eine Bewegung erzeugt, iſt Aenderung der Expanſivkraft, die ſelbſt wieder durch eine Aenderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in Kaminen, bei Feuersbrünſten, der beſtändige Luftwechſel in unſeren Zimmern zur Winterszeit ꝛc.

310. Wenn verdichtete Luft aus einer Oeffnung ausſtrömt und einen gegenüberſtehenden Körper, z. B. eine leicht bewegliche Platte trifft; ſo ſollte man wohl erwarten, daß dieſe vom Luftſtrome fortgeſtoßen würde. Dieſes iſt auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei ſtehenden Röhre erfolgt; iſt aber die Ausflußöffnung an einer breiten Wand angebracht, wie in Fig. 129, der eine leichte Platte in geringer Entfernung gegenüber ſteht, von einem Durchmeſſer, welcher den der Oeffnung weit übertrifft; ſo wird dieſe Platte gegen die Oeffnung hingetrieben. Dieſe Erſcheinung hat denſelben Grund wie die Vermehrung der Ausflußmenge eines Gaſes durch eine coniſche Anſatzröhre (288). Auch da fließt durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwiſchen der Wandöffnung und der Platte entſtehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieſes Herganges überzeugt man ſich mittelſt des Apparates (Fig. 130), wo die Ausflußröhre A ſeitwärts eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre a zur Beſtimmung der etwaigen Aenderung des Luftdruckes und die Deckelplatte B eine eben ſolche b zu demſelben Zwecke hat, überdieß ſind aber noch an der Wand C, längs welcher die ausſtrömende Luft hinſtreicht, drei in Waſſer reichende Röhren angebracht. Beim Ausſtrömen von Luft zeigt die Bewegung des Queckſilbers in a und b, daß innerhalb dieſer Röhre der Luftdruck größer iſt als auswärts, aber in den Röhren c, d, e ſteigt das Waſſer und zwar in c mehr als in d, in d mehr als in e zum Beweiſe, daß zwiſchen den Platten der Druck kleiner als von außen ſey.

Aehnliche Erſcheinungen bewirkt auch eine Vermehrung der Geſchwindigkeit eines ſtrömenden Gaſes, welche die der Druckhöhe entſprechende Größe überſchreitet; denn da wird der ſonſt auf die Gefäßwände nach auswärts gerichtete Druck in einen nach einwärts gerechneten verwandelt (289). Man ſieht dieß an dem Apparate Fig. 131. Dieſer beſtehet aus einem Gefäße A B, an deſſen einem Ende B eine enge, am

anderen A eine viel weitere Röhre angeſetzt iſt, während unten eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre angebracht iſt. Bläſt man durch die weitere Anſatzröhre in das Gefäß, ſo ſteigt das Queckſilber im äußeren Heberſchenkel; thut man dieſes durch die engere Röhre, ſo ſinkt das Queckſilber in ſelbem. (Schweigg. Journ. 53 304. Pogg. Ann. 15. 310.) Hieher gehören auch die Erſcheinungen, welche ein aus einer Röhre hervortretender, gegen eine Wand gerichteter Luftſtrom zeigt, die ſich mit Hülfe einer Lichtflamme nachweiſen laſſen, deren Richtung jene der bewegten Luft angibt. Wird z. B. ein Luftſtrom durch die Röhre A (Fig. 132) gegen die Wand B C geblaſen, ſo weicht eine Lichtflamme in E oder F gegen die Wand hin ab, und man findet ſo, daß nicht, wie man beim erſten Anblicke vermuthet hätte, der gegen die Wand geblaſene Luftſtrom von derſelben abprallt, ſondern vielmehr das Gegentheil erfolgt, daß aber der Luftſtrom längs der Wand nach der Richtung B C hingleitet.

311. Der Druck, welchen bewegte Luft gegen ein Hinderniß ausübt, iſt im Allgemeinen wie jener des Waſſers (290) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß man es mit einer ausdehnſamen Flüſſigkeit zu thun habe, die beim Anſtoßen verdichtet wird und ſich hierauf wieder ausdehnt, und ſowohl in dieſem als in jenem Falle gleich einem elaſtiſchen Körper auf den geſtoßenen Körper wirkt. Indeß iſt man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung, noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen, und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unſeren theoretiſchen Unterſuchnngen nicht abzuleiten im Stande iſt. Auf dem Geſetze des Luftſtoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windſtöße auszuhalten haben 2c. 2c.

Fünftes Kapitel.

Geſetze der ſchallenden Bewegung (Akuſtik).

A. Vom Schalle überhaupt.

312. Es gibt Bewegungen, durch welche das den bewegten Körper umgebende Mittel erſchüttert, und ein geſundes Gehörorgan ſo afficirt wird, daß dadurch die Empfindung des Schalles entſteht. Demnach iſt zur Entſtehung eines Schalles ein bewegter (ſchallender) Körper, ein deſſen Bewegung fortpflanzendes Mittel und ein geſundes Gehörorgan nothwendig. Als ſchallender Körper kann jeder auftreten, der das umgebende Mittel ſchnell und ſtark genug erſchüttert. Daher kann ein Inſect durch die mit der Flügelbewegung verbundenen raſchen Zuſammenziehungen und Erweiterungen der Bruſthöhle, welche ein ſtoßweiſes Aus- und Einathmen der Luft bewirken (Burmeiſter, in Pogg. Ann. 38. 283), ein Stab oder eine Peitſche, die ſchnell genug durch die Luft fahren, eine Luftmaſſe, die angezündet wird und dabei ein Product von viel kleinerem Volum liefert, wie z. B. Knallgas, einen Schall erregen. Vorzüglich ſind

aber dazu jene Körper geeignet, die durch irgend eine mechaniſche Kraft, z. B. durch einen Stoß, eine Formänderung erleiden und elaſtiſch genug ſind, um ihre vorige Geſtalt wieder genau anzunehmen. Da werden nämlich die aus ihrer natürlichen Lage gebrachten Theile durch ihre Elaſticität dieſer Lage zugetrieben, haben aber, gerade wenn dieſelbe erreicht iſt, die größte Geſchwindigkeit, und müſſen ſich demnach über dieſe Lage hinaus bewegen, bis ihre Geſchwindigkeit durch den Zug der Elaſticität aufgehoben iſt. Wenn aber dieſes geſchehen iſt, befinden ſich die Theile wieder nicht in einer natürlichen Lage, und ſo kommt es, daß ein ſolcher Körper eine Reihe gleichzeitiger Schwingungen macht, die denen eines ſchweren Pendels (241) ähnlich ſind. Als Schallmittel kann jeder Körper dienen, der eine erlittene Erſchütterung fortzupflanzen vermag. Das gewöhnliche Schallmittel iſt die atm. Luft; es ſind aber alle Körper, ſie mögen feſt oder tropfbar ſeyn, ja ſogar die Dünſte dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erſcheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am anderen Ende eine Uhr berührt, ſo hört man ihren Gang beſſer als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheuere Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Waſſer zuſammengeſchlagen werden, hört man in demſelben und außerhalb desſelben; Fiſche folgen dem Schalle einer Glocke, die ſich außer dem Waſſer befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläſernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelſt eines feinen Fadens auf, ſo hört man ſeinen Klang recht vernehmlich durch die Dünſte.

313. Der Charakter eines Schalles wird durch ſein Quantitatives und durch ſein Qualitatives beſtimmt. Seine Qualität läßt ſich nicht beſchreiben, ſie iſt das, wodurch ſich z. B. eine Menſchenſtimme von dem muſikaliſchen Schalle eines Inſtrumentes, ja ſelbſt der Schall eines Inſtrumentes von dem eines anderen unterſcheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch paſſender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht ſich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas Einfaches, in ſeinen Theilen Gleichartiges erſcheint, heißt Klang; ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang, ein Ton. Man ſagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton; ein Waſſerfall macht ein Geräuſch. Zwei zu gleicher Zeit erzeugte Töne klingen entweder angenehm oder unangenehm zuſammen; im erſten Falle bilden ſie eine Conſonanz, im zweiten eine Diſſonanz. Drei oder mehrere conſonirende Töne geben einen Akkord. Eine geregelte Folge einzelner Töne heißt Melodie; eine geregelte Folge von Akkorden Harmonie. Ein Klang wird nur durch regelmäßige Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt, und darum werden geregelt, ſchnell und hinreichend ſtark ſchwingende Körper auch vorzugsweiſe als klingende Körper angeſehen.

B. Fortpflanzung des Schalles.

314. Jeder ſchwingende Körper wirkt durch ſeine Bewegung auf alle jene, die mit ihm in Berührung ſtehen, und erzeugt in denſelben durch jeden hinreichend kräftigen Stoß eine Verdichtung und unmittelbar darauf eine Verdünnung; beide rücken gleichförmig vorwärts und kommen bis zu unſerem Gehörorgane, wo ſie die Schallempfindung erregen. Der Grund dieſer Fortpflanzung liegt in der Elaſticität der Materie, und erfolgt daher, dem Weſen nach, in allen Körpern, welche dieſe Eigenſchaft beſitzen, auf gleiche Weiſe. Darum wird eine nähere Betrachtung des inneren Verlaufs bei der Schallfortpflanzung in der Luft, als Erläuterung dieſer Fortpflanzung in jedem anderen Körper angeſehen werden können.

315. Man denke ſich eine gleichförmig dichte, cylindriſche Luftſäule AB (Fig. 133), an deren Ende A ſich ein ſchallender Körper befindet, nehme an, daß in einem, auf der Axe der Röhre ſenkrechten Querſchnitt alle Lufttheilchen zugleich in denſelben Zuſtand verſetzt werden, ſo daß man von jedem ſolchen Querſchnitte nur ein Theilchen zu betrachten braucht, und von dieſem auf alle anderen ſchließen kann, ferner, daß ſich die der Oeffnung A zugekehrte Fläche des ſchallenden Körpers in ihrem natürlichen Zuſtande in cc′, bei der größten Excurſion aber in bb′ und aa′ befinde, die Bewegung desſelben beginne aber von aa′ aus. Wiewohl der ſchallende Körper ohne Unterbrechung von aa′ bis bb′ fortrückt und wieder zurückkehrt, ſo kann man ſich doch ſeine Wirkung auf das Schallmittel als aus einer Reihe von Stößen zuſammengeſetzt denken, weil ſich die kleinſte Bewegung des Körpers alſogleich der Luft mittheilt und ungemein ſchnell in derſelben fortgepflanzt wird, ſo daß letztere für einen gleich darauf folgenden Stoß als ruhig anzuſehen iſt. So wie nun derſelbe Körper über aa′, wenn auch noch ſo wenig hinaustritt, ſtößt er auf die Luftſäule, verdichtet das zunächſt an ihm liegende Lufttheilchen; dieſes thut dasſelbe mit dem zweiten, das zweite mit dem dritten u. ſ. f., zugleich wird dieſen Theilchen eine ihrer Verdichtung proportionirte Geſchwindigkeit nach der Richtung ihrer Bewegung mitgetheilt. Bliebe nun auch die bewegte Fläche in ihrer dermaligen Lage, ſo müßte die Verdichtung der Lufttheilchen gleichförmig weiter rücken und immer neue Theilchen treffen, ſo wie ſich der Stoß in einer Reihe elaſtiſcher, einander berührenden Kugeln fortpflanzt. Dieſes Fortſchreiten kann aber nur nach der Richtung AB erfolgen, wiewohl die verdichteten Theile nach allen Seiten einen gleichen Druck ausüben; denn ſeitwärts werden ſie durch die Wände des Cylinders gehindert, und rückwärts kann ſich die Verdichtung nicht fortpflanzen, weil die Tendenz der Theilchen, vermöge ihrer Verdichtung nach rückwärts zu gehen, durch die ihnen ſchon mitgetheilte Geſchwindigkeit nach vorwärts aufgehoben wird. So wie die ſchallende Fläche noch weiter von aa′ weggerückt, wiederholt ſie die vorige Wirkung, ertheilt den ihr anliegenden, bereits wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen abermals eine Verdichtung, welche ſich auch, wenn dieſe Bewegung des ſchallenden Kör-

pers unmittelbar auf die vorhergehende folgt, an die erſte verdichtete Schichte unmittelbar anſchließt und mit ihr fortrückt. Dieſes geht ſo fort, bis die genannte Fläche in b b′ anlangt, wo ihre Geſchwindigkeit zu Ende iſt. Dieſe ganze verdichtete Luftſäule, welche durch die Excurſion von a a′ bis b b′ entſtanden iſt, vertritt die Stelle der bewegten Fläche, und erzeugt vor ſich eine eben ſo lange zweite verdichtete Schichte, dieſe eine dritte u. ſ. f. Beim Zurückgehen der Fläche von b b′ nach a a′ entſteht eine verdünnte, eben ſo lange Luftſäule, wie die verdichtete war, und dieſe fällt auf denſelben Platz, den vorher die verdichtete einnahm; ſie pflanzt ſich nach derſelben Richtung fort, wie die verdichtete Säule, und entfernt ſich demnach immer mehr vom ſchallenden Körper, wiewohl die Lufttheilchen eine entgegengeſetzte Richtung haben und ſich gegen den ſchallenden Körper hin bewegen. Auf ſolche Weiſe erzeugt jeder Hin- und Hergang des ſchallenden Körpers in der Luft eine verdichtete und eine eben ſo lange verdünnte Säule, wovon ſich jene unmittelbar an dieſe anſchließt und in ſie übergeht. Beide zuſammen machen eine Schallwelle aus. Die Länge beider Stücke zuſammengenommen heißt auch die Länge der Schallwelle. Der verdichtete Theil dieſer Schallwelle hat an ſeinen beiden Enden die natürliche, in der Mitte aber die größte Dichte, ſo daß dieſe gegen beide Enden zu immer kleiner wird; eben ſo haben die Theile dieſes Wellenſtückes (nicht die Welle ſelbſt) an beiden Enden die kleinſte, in der Mitte die größte Geſchwindigkeit. Auf gleiche Weiſe haben die verdünnten Theile der Welle in der Mitte die kleinſte Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geſchwindigkeit, an beiden Enden natürliche Dichte (keine Verdünnung) und die kleinſte Geſchwindigkeit. Dieſes kommt daher, weil der bewegte Körper, von deſſen Bewegung die Verdichtung, Verdünnung und die Geſchwindigkeit der Theile abhängt, in a a′ und b b′ die kleinſte (= o), in c c′ aber die größte Geſchindigkeit hat. Die Länge einer Schallwelle in der Luft hängt von dem Verhältniſſe der Expanſivkraft der Luft zur Dichte und von der Schnelligkeit der Bewegungen des ſchallenden Körpers ab. Ihr verdichteter und verdünnter Theil haben ſtreng genommen nicht gleiche Längen; erſterer iſt um die ganze Excurſion des ſchallenden Körpers kleiner, als der Weg, den die Verdichtung der Luft während eines Hinganges des ſchallenden Körpers zurücklegt, letzterer um eben ſo viel größer als der Weg der Verdünnung der Luft während des Zurückgehens des ſchallenden Körpers. Die Länge der ganzen Schallwelle iſt demnach dem Wege genau gleich, den die Verdichtung (oder Verdünnung) der Luft während eines Hin- und Herganges des ſchallenden Körpers durchläuft.

Man ſieht aus dieſer Darſtellung, daß die Schallfortpflanzung in einem Fortſchreiten der Verdünnung und Verdichtung des Schallmittels beſtehe, daß dabei die Theile dieſes Mittels die Lage ihres Gleichgewichtes nur ſehr wenig verlaſſen, und ſich bald nach der Richtung der Schallfortpflanzung, bald nach der entgegengeſetzten bewegen. Die Schallwelle iſt immer der Inbegriff aller durch einen Hin- und

Hergang des ſchallenden Körpers, d. h. durch eine Schwingung (beim ſchweren Pendel wäre dieſes eine Doppelſchwingung) in Bewegung geſetzten Theilchen des Schallmittels.

316. Was in einer cylindriſchen Luftſäule vorgeht, dasſelbe muß auch in freier Luft, die einen ſchallenden Körper rings umgibt, Statt finden. Jeder ſchwingende Punkt eines ſolchen erregt nämlich rings um ſich in der Luft eine Verdichtung und Verdünnung; dieſe ſchreitet, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beſchaffenheit iſt, allenthalben nach der normalen Richtung gleich ſchnell fort, und ſo entſtehen von jedem Punkte Wellen, wovon die erſte eine ganze Kugel vorſtellt, in deren Centrum der ſchallende Körper gedacht werden kann, er mag was immer für eine Geſtalt haben. Jede Seitenbewegung wird durch den Widerſtand der in gleichem Zuſtande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen unmöglich gemacht. Die folgenden Wellen, welche aus dem Fortſchreiten der unmittelbar erzeugten entſtehen, bilden hohle concentriſche Kugelſchalen, deren jede ſelbſt wieder aus zwei concentriſchen Theilen beſteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt iſt. Alle von den einzelnen Punkten des ſchallenden Körpers ausgehenden Wellen (Elementarwellen) ſetzen ſich zu einer einzigen (wirkſamen) Welle zuſammen, welche gleichſam alle einzelnen in ſich enthält, und, wenigſtens in größerer Entfernung von dem ſchallenden Körper, als eine Kugelſchale betrachtet werden darf, in deren Centrum irgend ein Punkt des ſchallenden Körpers befindlich iſt. Die Dicke einer ſolchen Schale iſt die Länge der Schallwelle. (Bei einer Waſſerwelle heißt die analoge Größe die Breite der Welle.) Dieſe ändert ſich während ihrer Erweiterung nicht, ſondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung und Verdichtung ab. Wenn man ſich innerhalb der beiden Grenzflächen einer ſolchen Welle eine mit ihr concentriſche Kugelfläche denkt, ſo ſind alle auf ihr befindlichen Theile in demſelben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derſelben ſeitwärts ausweichen und eben ſo wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwärts übrig, und jedes Theilchen pflanzt ſeine Bewegung nach einer normalen Richtung, d. i. bei Kugelwellen nach der Richtung eines Halbmeſſers der Kugel fort. Dieſe Richtung gibt uns diejenige an, von welcher der Schall kommt, weil die Lufttheilchen, durch deren Bewegung die Welle entſteht, nach dieſer Richtung das Ohr treffen. Man nennt die Richtung, in welcher ſich die Bewegung der Theile des Schallmittels fortpflanzt, einen Schallſtrahl.

317. Wenn an mehreren Stellen zugleich Schallwellen erregt werden, ſo pflanzt ſich jede unabhängig von der anderen fort; treffen ſie irgendwo zuſammen, ſo durchkreuzen ſie ſich und ſetzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten ſie ſich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsſtelle wirken ſie auf einander ein (interferiren einander), und verſtärken oder ſchwächen ſich, oder heben ſich daſelbſt gar auf, je nachdem ſich die Theile der ſich ſchneidenden Wellenſtücke nach derſelben oder nach entgegengeſetzten Richtun-

gen bewegen. Hieraus wird begreiflich, wie man mehrere Laute zugleich hören kann.

318. Erfahrungen über die Fortpflanzung des Schalles in der Luft macht man am beſten Nachts, mittelſt Abfeuern von Kanonen, indem man die Zeit mißt vom Augenblicke, wo man das Licht aus einer gemeſſenen Entfernung ſieht, bis zu dem, wo man den Schall hört, und ſie mit der Entfernung vom Orte der Explosion vergleicht. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueſte Rückſicht zu nehmen, weil man aus theoretiſchen Gründen weiß, daß dieſe einen Einfluß auf die Geſchwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Solche Verſuche hat man ſchon in der zweiten Hälfte des ſiebzehnten Jahrhundertes unternommen, und ſie von dieſer Zeit bis auf unſere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer Manches zu wünſchen übrig, beſonders weil man nie im Stande war, Reſultate zu erhalten, die vom Einfluſſe des Windes ganz frei waren. Die in dieſer Hinſicht genügendſten Verſuche ſind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitſch. 1. 213.) und anderen angeſtellt wurden, weil man an jedem Endpunkte einer genau gemeſſenen Linie in demſelben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterſcheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Stationen beobachtete, und ſo auf einmal zwei Reſultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von dieſem Einfluſſe nahe frei angeſehen werden konnte. Es ergab ſich daraus, daß der Schall bei einer Temperatur von 0° C. und in ganz trockener atm. Luft in gleichförmiger Bewegung in einer Secunde 332.244 Meter oder nahe 1050 W. F. zurücklegt. (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115.) Dieſe Geſchwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umſtänden zu, man mag ſeine Ausbreitung nach oben oder in horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inſt. Bd. 7.) angeſtellten Verſuchen hatten die beiden Standpunkte der Beobachter einen Höhenunterſchied von 4198 P. F., und doch fand man ein dem vorigen ſehr nahes Reſultat. (333.2 Meter.) Auch der reflectirte Schall hat nach Gregory's Verſuchen (Zeitſch. 1. 215) mit dem directen einerlei Geſchwindigkeit. Der Wind beſchleunigt ihn nach desſelben Verſuchen um ſeine eigene Geſchwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben ſo viel, wenn er ihm entgegenkommt. In feuchter Luft bewegt ſich der Schall ſchneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel geſetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem ſie das Verhältniß der Expanſivkraft zur Dichte der Luft, von dem allein die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit abhängt, modificirt. Die Höhe oder Tiefe und die Stärke des Schalles haben auf ſeine Fortpflanzungsgeſchwindigkeit keinen Einfluß.

319. Durch feſte und tropfbare Körper geht die Fortpflanzung

des Schalles dem Weſen nach eben ſo, aber ſchneller vor ſich, wie durch die atm. Luft. Biot fand ſie in einer eiſernen Röhre $10\frac{1}{2}$mal ſchneller. Chladni fand durch ein ſehr ſinnreiches Mittel die Geſchwindigkeit des Schalles im Zinn $7\frac{1}{2}$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, in gebranntem Thon 10 — 12 mal, in verſchiedenen Hölzern 11 — 17mal ſchneller als in der atm. Luft. Colladon und Sturm fanden die Geſchwindigkeit des Schalles im Waſſer des Genfer Sees durch directe Verſuche bei 8°.1 C. gleich 1435 M., alſo über 4mal größer als in der Luft. Im Eiſe und im Waſſer von 0° C. fand man die Schallgeſchwindigkeit gleich groß. Man hat auch die Geſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gaſen unterſucht, und das Geſetz beſtätiget gefunden, daß ſie ſich nach dem Verhältniſſe der Expanſivkraft zur Dichte, alſo bei gleichen Temperaturen nach der ſpecifiſchen Expanſivkraft derſelben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° C. in einer Secunde im Sauerſtoffgas 317.17 Meter, im Waſſerſtoffgas 1269.5 M., im Kohlenſäuregas 261.6 M., im Kohlenoxydgas 337.4 M., im Stickſtoffoxydgas 261.9 M., im Oehlgas 314 M. zurücklege. (Zeitſch. 6. 502.)

320. Die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft hat zuerſt Newton aus theoretiſchen Gründen abzuleiten geſucht, und dafür den Ausdruck $\sqrt{Hg}$ gefunden, wo H die Höhe der Atmoſphäre bedeutet, wenn ſie ohne Aenderung des Druckes auf die an der Erdoberfläche herrſchende Dichte reducirt iſt, und g die Geſchwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der erſten Secunde. Dieſe Formel gibt eine Geſchwindigkeit von 279.29 Meter, alſo nahe um $\frac{1}{6}$ weniger, als wirkliche Verſuche. Die Urſache dieſes Unterſchiedes liegt, wie Laplace zuerſt bemerkt hat, darin, daß man bei der Deduction dieſer Formel nicht darauf Rückſicht genommen hat, daß ſich die Luft bei der Verdichtung erwärmt, alſo eine größere Expanſivkraft bekommt, und ſich beim Verdünnen erkältet, mithin eine geringere Expanſivkraft erlangt. Da nun die beſchleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterſchiede der Expanſivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expanſivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt, und dieſer Unterſchied bei der verdichteteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; ſo iſt die Richtigkeit der Laplace'ſchen Behauptung wohl außer Zweifel geſetzt, weßwegen in erwähnter Formel der Werth von H vergrößert werden muß. Es gibt auch die darnach corrigirte Formel ein mit der Erfahrung ſehr nahe übereinſtimmendes Reſultat (332.8 Meter). Iſt c die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft bei 0° C., v dieſe Geſchwindigkeit bei t° C. und α der Ausdehnungscoefficient der Luft für 1° C. (185), ſo ergibt ſich der obigen theoretiſchen Formel gemäß $v = c\sqrt{1 + \alpha t}$.

Laplace hat auch ein Mittel angegeben, durch welches man die Geſchwindigkeit des Schalles in jedem Körper leicht finden kann, welches ſo lautet: Iſt das Fortpflanzungsmittel ein feſter Körper, ſo unterſuche man, um wie viel ſich ein 1 Fuß langer Stab von dieſer Ma-

terie verlängert, wenn er an einem Ende befeſtigt und am anderen durch eine Kraft in die Länge gezogen wird, die ſeinem eigenen Gewichte gleich iſt. Iſt das Fortpflanzungsmittel flüſſig, ſo meſſe man die Verminderung einer 1 Fuß langen, horizontalen Säule, die ſie erleidet, wenn ſie durch ein dem ihrigen gleiches Gewicht zuſammengedrückt wird. Dividirt man durch dieſe Größe das Maß der Schwere g, ſo gibt die Quadratwurzel des Quotienten die Geſchwindigkeit des Schalles im betreffenden Körper in Fußen. — Tralles hat den Beweis dieſes Satzes folgendermaßen gegeben: Die theoretiſche Formel für die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft iſt $= \sqrt{Hg}$. Wäre nun ein Kubikfuß atm. Luft einem Drucke unterworfen, welcher der Höhe H entſpricht, und es würde dieſer Druck um eine Einheit vermehrt; ſo müßte der gegebene Kubikfuß um den Raum s zuſammengedrückt werden, ſo daß man hätte $1 - s : 1 = H : H + 1$, woraus folgt

$$H = \frac{1}{s} - 1 = \frac{1 - s}{s} = \frac{1}{s},$$

wenn s gegen 1 ſehr klein iſt. Dieſer Werth in obiger Formel ſubſtituirt, gibt die Geſchwindigkeit $= \sqrt{\frac{g}{s}}$. (Gilb. Ann. 57. 254; 65. 43.)

321. Die Fortpflanzung des Schalles erfolgt dem Vorhergehenden gemäß durch den Stoß des ſchallenden Körpers auf das ihn umgebende Mittel und durch den eines Theils dieſes Mittels auf den daran grenzenden. Wenn daher der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen will, ſo üben auch die Theile des erſten auf das zweite eine Wirkung aus, die nach den Geſetzen des Stoßes elaſtiſcher Körper (264) vor ſich geht. Darum wird zwar die Schallwelle in das neue Mittel eindringen, ein Theil davon wird aber in das alte zurückkehren, d. i. reflectirt werden. Man muß aber die regelmäßige Reflexion des Schalles von der Zerſtreuung desſelben wohl unterſcheiden. Bei erſterer bilden die einzelnen Elementarwellen, die ſich zu einer wirkſamen Schallwelle zuſammengeſetzt haben (316), ſelbſt noch nach der Zurückwerfung eine wirkſame Welle, bei letzterer wird eine wirkſame Welle durch Reflexion in ihre Elementarwellen aufgelöſet, und hört dadurch auf, eine deutliche Schallempfindung hervorzubringen; bei erſterer macht der reflectirte Schallſtrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel einen Winkel, welcher jenem gleich iſt, den der auffallende Strahl mit derſelben einſchließt, bei letzterer wird der einfallende Strahl durch Reflexion in eine Menge nach verſchiedenen Richtungen ausfahrender einzelnen Strahlen aufgelöſet; erſtere tritt ein, wenn die Grenze der Schallmittel, wo die Zurückwerfung Statt hat, eine Ebene oder eine ziemlich regelmäßig gekrümmte Fläche iſt, letztere, wenn dieſe Grenze unregelmäßige Erhöhungen und Vertiefungen hat. Das Verhältniß der Intenſität des regelmäßig reflectirten und durchgelaſſenen Strahles richtet ſich nach dem Verhältniſſe der Schallgeſchwindigkeit in beiden an einander grenzenden Mitteln. Die regelmäßige Reflexion tritt nach den angeführten Geſetzen am deutlichſten an nach einer Kugelkrümmung ausgehöhlten Flächen (Niſchen in Gebäuden) hervor. Stellt man zwei ſolche hohle Flächen (Hohlſpiegel)

einander gegenüber, und es ſpricht einer mit dem Geſichte gegen die Fläche gekehrt in der Entfernung des halben Radius derſelben, ſo hört ihn ein zweiter, der ſein Ohr in der entſprechenden Entfernung von der zweiten Fläche hat, deutlich, während andere in der Nähe befindliche nichts hören. Es werden alſo die Schallſtrahlen, welche auf die erſte Fläche auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen ſo auf die zweite, und erleiden daſelbſt wieder eine Reflexion, wodurch ſie aber vereiniget werden. Von der Art war das ſogenannte Ohr des Dionyſius in den Steinbrüchen bei Sirakus.

Aus dem Geſagten iſt begreiflich, daß nicht bloß feſte, ſondern auch tropfbare und ausdehnſame Körper, wie z. B. Wolken, warme Luft u. ſ. w., den Schall reflectiren können, und daß überhaupt bei jedem Uebergange des Schalles von einem Mittel in ein anderes eine Reflexion eintritt. Bei den Schallverſuchen in Frankreich bemerkte man, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört werde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demſelben Orte wie das Rollen des Donners erſchien, zum Beweiſe, daß ſelbſt Wolken den Schall reflectiren.

322. Iſt die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, ſo fällt der reflectirte Schall mit dem urſprünglichen zuſammen, und bewirkt eine Verſtärkung desſelben; beträgt die Entfernung mehr, ſo kann durch die Reflexion der urſprüngliche Schall nicht bloß verſtärkt, ſondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung wahrzunehmen iſt. Dieſes nennt man einen Nachhall. Iſt endlich die Entfernung ſo groß, daß der reflectirte Schall erſt dann zurückkommt, wenn ſich das Ohr vom erſten Schalle ſo erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich iſt; ſo vernimmt man den Schall doppelt, und dieſe Erſcheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemäß das menſchliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterſcheiden kann; ſo muß ein Gegenſtand, der den letzten Laut eines zuſammenhängenden Schalles als Echo zurückſenden ſoll, $1050 : 18 = 58.3$ Fuß entfernt ſeyn. Beträgt dieſe Entfernung $58.3 \times 2 = 116.6$ Fuß, ſo werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es iſt zweiſylbig, bei der Entfernung von $58.3 \times 3 = 174.9$ Fuß dreiſylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenſtände, wovon einer ein einſylbiges, der andere ein zweiſylbiges, der dritte ein dreiſylbiges Echo hervorbringt; ſo entſteht ein zweifaches oder dreifaches Echo. Daß zur Entſtehung eines Echo's nicht bloß die gehörige Entfernung des reflectirenden Körpers vom Hörenden, ſondern auch eine der regelmäßigen Reflexion (nicht Zerſtreuung) des Schalles günſtige Beſchaffenheit desſelben gehöre, iſt aus dem Vorhergehenden klar.

Ein Echo mag wohl im Freien ſehr ergötzen, in Hörſälen, Theatern ꝛc. iſt es aber höchſt nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, iſt das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derſelben mit Zierrathen, das Behängen mit Teppichen, oder wenn die Wände hohl ſind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägeſpänen, ein wirkſames

Mittel. Es gibt viele ſchon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein ſolches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Craſſus, ſoll den erſten Vers der Aeneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwiſchen Coblenz und Bingen ſoll ein Wort ſiebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schloſſe Simonetta unweit Mailand gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung desſelben Lautes. Bei Verdun iſt ein zwölf bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geſchloſſenen Räumen ſind mehrfache Echo keine Seltenheit.

C. Der Schall in Beziehung auf Höhe und Tiefe. (Tonlehre.)

323. Ein einziger, von einem ſchallenden Körper auf das Schallmittel und dadurch auf das Gehörorgan ausgeübter Stoß bewirkt nur einen unbeſtimmten Schall; ein Klang fordert eine Reihe periodiſch wiederkehrender, raſcher Stöße, wie ſie bei Oscillationen Statt finden. So verſchieden derlei Stöße nach ihrer Stärke, nach der Dauer ihrer periodiſchen Wiederkehr und dem Geſetze derſelben ſeyn können, ſo mannigfaltig können auch Klänge in Bezug auf Stärke, Höhe, Tiefe und Qualität ſeyn.

324. Die Stöße, deren Aufeinanderfolge die objective Urſache eines nach Höhe und Tiefe meßbaren Klanges (Tones) iſt, müſſen ſo ſchnell auf einander folgen, daß ſie im Ohre eine einzige Empfindung hervorbringen. Dazu gehört, daß wenigſtens 16 Schwingungen in einer Secunde vor ſich gehen. Werden dieſe Schwingungen zu ſchnell, ſo verſchwindet für das Gehör die in jeder einzelnen herrſchende Regelmäßigkeit, und dieſes vernimmt keinen Ton mehr, ſondern nur eine Art Ziſchen, wie dieſes der Fall iſt, wenn in einer Secunde über 16,000 Schwingungen auf das Ohr einwirken. Eine Art Schallempfindung kann aber ſelbſt noch durch Schwingungen erregt werden, deren 48,000 in einer Secunde auf einander folgen (Savart, in Zeitſch. 9. 16. — *Ann. de Chim.* 47. 69.). Je ſchneller Schwingungen vor ſich gehen, deſto höher iſt der dadurch erregte Ton. Davon kann man ſich durch viele Verſuche überzeugen; am leichteſten durch die Syrene, ein von Cagniard de Latour erſonnenes Inſtrument, das dem Weſen nach eine Röhre vorſtellt, durch welche ein Luftſtrom getrieben werden kann, und die man abwechſelnd und ſchnell hinter einander öffnet und wieder ſchließt. Sie gibt einen deſto höheren Ton, je ſchneller dieſes Oeffnen und Schließen auf einander folgt. Dasſelbe kann man auch aus Verſuchen mit Saiten entnehmen. Entlockt man nämlich einer langen Saite einen Ton, und verkürzt ſie hierauf und bringt ſie wieder zum Tönen, ſo bemerkt man deutlich, daß durch die Verkürzung die Schwingungen an Geſchwindigkeit und der Ton an Höhe zugenommen habe.

Die Syrene iſt in Fig. 134 abgebildet. Sie beſteht aus einer Röhre, die zu einem cylindriſchen Behälter führt, der mit einer kreisförmigen Platte geſchloſſen iſt, in welcher in einem Kreiſe herum mehrere Löcher angebracht ſind, ſo daß die Luft, die man in die Röhre bläſt, durch dieſelben entweichen kann. Auf jener Platte befindet ſich eine andere, um eine auf ihrer Ebene ſenkrechte Axe äußerſt leicht

drehbare, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abſtehenden, gegen die Halbmeſſer der Platte ſenkrecht, gegen ihre Ebene aber unter dem Winkel von 45° gebohrten Löchern, welche auf die der erſteren Platte paſſen. Dieſe Platte wird durch den aus den Oeffnungen der unteren Platte hervortretenden Luftſtrom, der ſchiefen Stellung ihrer Löcher wegen, in Bewegung geſetzt, und läßt ſich durch Regulirung des Luftſtroms in beliebiger conſtanter Geſchwindigkeit der Drehung erhalten. Während einer Umdrehung fällt jede ihrer Oeffnungen einmal auf jede Oeffnung der Spalte der Bodenplatte ſo, daß die Luft während einer ſolchen Umdrehung ſo oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zuſammenfallen.

325. Das menſchliche Gehör kann zwar ſehr kleine Unterſchiede in den Tonhöhen wahrnehmen, aber eine gewiſſe Folge von Tönen gewährt ihm eine beſondere Befriedigung. In dieſer Folge kommt man von einem beſtimmten Tone, den man der Vergleichung zum Grunde legt und Grundton (tonica) heißt, nach ſechs Zwiſchentönen auf einen ſolchen, der wiewohl höher oder tiefer als der Grundton, doch mit demſelben ſo genau zuſammenſtimmt, daß, wenn beide zuſammen erklingen, man nur einen Ton zu hören glaubt. Darum nimmt man an, die Tonreihe fange mit dieſem Tone wieder von Neuem an. Die Töne dieſer Reihe heißen nach der Ordnung: Grundton, Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime, Octav. Heißt der Grundton C, ſo nennt man die Secund D, die Terz E, die Quart F, die Quint G, die Sext A, die Septime H und die Octave wieder c. Von c an aufwärts folgen wieder d, e, f, g ꝛc. Mit dem Grundtone läßt ſich die Terz oder die Quint ſehr angenehm, die Quart und die Sext noch erträglich hören, und man nennt dieſe Töne daher conſonirende, die übrigen, nämlich die Secund und Septime mit dem Grundtone diſſonirende.

326. Sowohl mittelſt der Syrene als mit einem einſaitigen mit Reſonanzboden verſehenen Inſtrument (Monochord) kann man die den einzelnen Tonverhältniſſen (Intervallen) entſprechenden Schwingungsverhältniſſe ausmitteln. Eine beſondere Einrichtung der Syrene, ein Räderwerk, in welches die Axe der beweglichen Scheibe eingreift, geſtattet nämlich die von ihr in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Umdrehungen für jede Tonhöhe zu zählen. Kennt man nun noch die Anzahl der am Umfange dieſer Scheibe und der Unterplatte befindlichen Oeffnungen, ſo weiß man, wie oft der Luft in einer Secunde der Ausgang aus dem Körper des Inſtrumentes geſtattet und wieder verwehrt iſt, mithin, wie viele Stöße in dieſer Zeit auf die Luft ausgeübt werden. Auf ähnliche Weiſe gelangt man mittelſt des Monochords zum Ziele. Die Anzahl n der Schwingungen einer Saite in einer Secunde wird nämlich durch $n = \frac{Q}{l}$ ausgedrückt, wo l die Saitenlänge, Q aber eine von der Dicke, Dichte und Spannung der Saite und von der Beſchleunigung der Schwere abhängige Größe bedeutet. Sieht man den Ton, welchen die ganze Saite gibt, als Grund-

ton an, und ändert die Saitenlänge, bis man die Quint oder die Terz ꝛc. vernimmt, ſubſtituirt jedesmal für 1 den betreffenden Werth, ſo erhält man für jeden Ton den Werth von n. So hat man folgende Werthe gefunden, wobei C der Ton iſt, den eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 8 Pariſer Fuß Länge gibt (das ſogenannte große C)

Ton	C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,
Abſolute Schwingungszahl	64,	72,	80,	85.3,	96,	106.7,	120,	128
Relative » » . . .	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Bezeichnet man, wie es üblich iſt, die unter C ſtehenden Töne mit $\underline{H}$, $\underline{A}$, $\underline{G}$ ꝛc. $\underline{C}$, $\underline{\underline{H}}$, $\underline{\underline{A}}$ ꝛc. $\underline{\underline{C}}$, ſo gehören obiger Tabelle gemäß dem Tone $\underline{C}$ (Contra-C) 32, dem Tone $\underline{\underline{C}}$ (dem tiefen C) 16 Schwingungen in der Secunde. Letzterer Ton heißt auch das 32füßige C, weil ihn eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 32 P. Fuß Länge gibt. Die über c (dem kleinen C) liegenden Töne werden mit d, e, f ꝛc. $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$, ... $\bar{\bar{c}}$ u. ſ. f. bezeichnet, und letztere eingeſtrichenes, zweigeſtrichenes C, D u. ſ. w. genannt. Obiger Tabelle nach entſprechen dem $\bar{a}$ (als dem Tone, welchen die aSaite einer Violine gibt) 426.7 Schwingungen in der Secunde. Dieſe Beſtimmungen fordern große Vorſicht und Aufmerkſamkeit. Will man ſie mit einem Monochord vornehmen, ſo thut man gut, das von Fiſcher angegebene (Zeitſch. 1. 184) zu wählen. Nach deſſen ſorgfältigen Verſuchen (Abhandl. der Berlin. Akademie der Wiſſenſch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen für $\bar{a}$ nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Feydeau 428, und nach dem italieniſchen Theater in Paris 424 Schwingungen; nach Scheibler's ſehr genauen Meſſungen macht der Ton $\bar{a}$ in einer Secunde 443.56 Schwingungen. Pogg. Ann. 32. 333.) Der große Unterſchied zwiſchen dem berechneten und nach Verſuchen gefundenen Werthe liegt in der etwas willkürlichen Annahme des Grundtones. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefſten Männertone entſprechen, wenn man dafür F annimmt, 86, dem höchſten ($\bar{a}$ als Bruſtton) 427 Schwingungen in der Secunde, welche beiden Extreme ſich jedoch in der Regel nicht in einem Individuum vereinigt vorfinden; dem tiefſten Tone eines Frauenzimmers hingegen (g) 384 dem höchſten ($\bar{\bar{e}}$) 1280 Oscillationen. Sobald über 16,000 Schwingungen in einer Secunde gemacht werden, vernehmen wir keinen Ton mehr, ſondern nur eine Art Ziſchen. Die längſte Tonwelle in der Luft bei 16 Schwingungen in 1 Sec. hat, wenn die Geſchwindigkeit des Schalles = 1024 P. Fuß angenommen wird, die Länge von 1024 : 16 = 64 P. Fuß, die kürzeſte beträgt 9 Linien.

327. Die unmittelbar innerhalb einer Octave auf einander folgenden Intervalle ſind nicht gleich groß; denn es gibt $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$; $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines großen ganzen Tones, das nächſt folgende $\frac{10}{9}$ das eines kleinen ganzen Tones, das zunächſt kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines großen halben Tones, und das kleinſte $\frac{25}{24}$ das eines kleinen halben Tones. Das zwiſchen einem großen und kleinen ganzen Tone beſtehende Intervall nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ wird

Comma genannt. Im Allgemeinen iſt daher das Intervall zwiſchen der Terz und Quart und zwiſchen der Septime und Octave das eines halben Tones; alle anderen betragen einen ganzen Ton.

328. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwiſchen dem Grundtone C und ſeiner Octave c möglich ſind, ſpringt in die Augen; es reichen aber dieſe Töne auch nicht für die practiſche Muſik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann. Will man nicht C, ſondern einen anderen Ton, z. B. G, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortſchreiten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigſtens nicht ſehr ſtark, abweicht; ſo muß man zwiſchen F und G einen neuen Ton einſchalten; denn es wird bei dieſer Annahme E die Sext, F die Septime und g die Octave; E und F ſind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verſchieden, und ſollen es um einen ganzen ſeyn, während F und g um einen ganzen Ton von einander abſtehen und es nur um einen halben ſollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man F um einen halben Ton erhöht, das iſt, ſeinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieſelbe Erhöhung muß man mit mehreren anderen Tönen vornehmen, wenn man D, A, E, H ꝛc. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundton annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von C liegt, wie z. B. F. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu ſeinem Namen is, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demſelben es ſetzt. So bezeichnet cis, dis, fis das erhöhte c, d, f, und es, hes, ges das vertiefte e, h, g. Durch Einſchaltung dieſer Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 12 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß gibt.

Name	Werth		Name	Werth.	
c	1	1.00000	ges	$\frac{36}{25}$	1.44000
cis	$\frac{25}{24}$	1.04166	g	$\frac{3}{2}$	1.50000
des	$\frac{27}{25}$	1.08000	gis	$\frac{25}{16}$	1.56250
d	$\frac{9}{8}$	1.12500	aes	$\frac{8}{5}$	1.60000
dis	$\frac{75}{64}$	1.17187	a	$\frac{5}{3}$	1.66667
es	$\frac{6}{5}$	1.20000	ais	$\frac{125}{72}$	1.73611
e	$\frac{5}{4}$	1.25000	hes	$\frac{9}{5}$	1.80000
lis	$\frac{125}{96}$	1.30208	h	$\frac{15}{8}$	1.87500
fes	$\frac{32}{25}$	1.28000	his	$\frac{125}{64}$	1.95313
f	$\frac{4}{3}$	1.33333	ces	$\frac{48}{25}$	1.92000
fis	$\frac{25}{18}$	1.38889	c	2	2.00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung, der andere durch Vertiefung des nächſt höheren entſtanden iſt, wie z. B. cis und des, fis und ges, ſehr wenig von einander abweichen; ſo gibt man ihnen

in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatiſche Tonleiter aus.

329. Wenn man auf irgend einem muſikaliſchen Inſtrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältniſſen von einem Tone zum anderen fortſchreitet, und auch die kleinſten Unterſchiede, z. B. die zwiſchen cis und des nicht vernachläßiget; ſo entfernt man ſich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältniſſe zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von C aus aufwärts gehen, ſo wäre der Werth der erſten reinen Quinte $G = \frac{3}{2}$, jener der zweiten $d = \frac{9}{4}$, der dritten $a = \frac{27}{8}$. Da a zugleich die Octave von der Sext A iſt, ſo müßte ſich der letztere Ton durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken laſſen, und es müßte dieſe Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältniſſe auch das gegen den Grundton rein ausfallen ſoll. Es iſt aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$, und man hat ſich daher um dieſen Bruch, d. h. um ein Comma, vom reinen Verhältniſſe gegen C entfernt. Beim ferneren Fortſchreiten nach reinen Quinten häuft ſich dieſer Fehler noch mehr an. Iſt man durch 12 Quinten aufgeſtiegen, ſo kommt man auf die ſiebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die ſiebente Octave den Werth 2^7 hat, ſo beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein ſeyn können, bei erſteren aber die geringſte Abweichung vom reinen Verhältniſſe dem Ohre unerträglich wäre; ſo vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt ſie, und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche ſeltener vorkommen. Jenes geſchieht bei der gleichſchwebenden, dieſes bei der ungleichſchwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht, und es iſt für jedes muſikaliſche Inſtrument, es mag eine beſtimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth n einer Quinte bei der gleichſchwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1.49831$, welches vom wahren Werthe um $3/2 - 1.49831 = 0.00169$ verſchieden iſt.

D. Der Schall in Beziehung auf ſeine Stärke.

330. Die Intenſität des Schalles hängt, abgeſehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Größe des Stoßes ab, der auf dieſes Organ ausgeübt wird, und von dem Zwiſchenraume, der einen Stoß vom anderen trennt. Daraus ergibt ſich, daß die Stärke des Schalles durch die Beſchaffenheit und Bewegung des ſchallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den ſchallenden Körper beſtimmt wird.

331. Je mehr Theile des ſchallenden Körpers zugleich ſchwingen, je ſchneller ſie dieſes thun und je größere Excurſionen ſie machen, ferner, je weniger die Wirkungen der verſchiedenen oscillirenden Theile

des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel einander entgegengeſetzt ſind, deſto größer wird der Unterſchied zwiſchen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin deſto intenſiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel iſt, deſto mehr Intenſität erhält der Schall.

Deßhalb iſt der Ton einer Metall- oder Glasplatte ſo ſtark, daß man ihn ohne Hilfsmittel weit hört (Glockengeläute), während der Ton einer Saite und einer Stimmgabel ſchon in kleiner Entfernung nicht mehr hörbar iſt; darum verurſachen lange Peitſchen einen ſtärkeren Knall als kurze, deßhalb iſt der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Flinte; aus dieſem Grunde ſind hohe Töne und ſolche, die dicken Saiten entlockt werden, ſo ausgiebig; darum verſtärkt bei Streichinſtrumenten das Aufdrücken mit dem Bogen und das Streichen desſelben mit Kolophonium den Ton ſo ſehr. Die Zinken einer auf gewöhnliche Weiſe zum Tönen gebrachten Stimmgabel haben gleichzeitig faſt einander entgegengeſetzte Bewegungen, die ſich auch der Luft mittheilen, und darum nur einen ſehr ſchwachen Ton erzeugen. Bringt man an einer Zinke ein Papierſcheibchen an, das beim Schwingen mit jener Fläche gegen die Luft ſchlägt, und macht die Maſſe der zweiten Zinke durch Wachs der erſten gleich, ſo wirkt eine Zinke viel ſtärker auf die Luft als die andere, und der Ton wird in der That viel ſtärker und heller. Dreht man ein mit vielen Speichen verſehenes Rädchen um ſeine Axe, und läßt es dabei mit den Speichen an einen leichten Körper anſtoßen, ſo wird der dadurch erregte Schall deſto ſtärker, je weiter der ſtoßende Körper vom Mittelpunkte des Rades abſteht, mithin je ſtärker die einzelnen Stöße und je ſchärfer ſie von einander getrennt ſind.

332. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel iſt, und je weniger es den Stößen des ſchallenden Körpers ausweicht (je geringer ſeine Expanſivkraft im Vergleiche mit der Dichte iſt), deſto größer wird die Dichte des verdichteten, und deſto kleiner die des verdünnten Wellentheiles, mithin deſto intenſiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge ſeiner Geſtalt den Wellen erlaubt, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen, deſto leichter erhält es den Schall bei ſeiner urſprünglichen Stärke. Je ſeltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, deſto mehr wird die bei jedem Wechſel des Mittels (321) Statt findende Theilung der Welle verhütet, und für die Erhaltung ihrer urſprünglichen Intenſität geſorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verſtärken oder ſchwächen, je nachdem er mit oder gegen denſelben geht.

Hieraus erklären ſich: Die beſondere Schwäche des Schalles im Waſſerſtoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeſchlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn ſie in eine Drehbank eingeſpannt und ſchnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelſt eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindriſchen Röhre ſich fortpflanzen müſſen, und ſich nicht erweitern können) noch

recht gut hört; warum dieſes ein Stab beſſer thut, als ein unförmlicher Kloß; warum man ſich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräuſch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftſchichte zwiſchen ſich enthalten, mehr geſchwächt wird, als durch ein einziges doppelt ſo dickes Bret; warum Wolle, Sägeſpäne und alle Körper, die viele mit Luft erfüllte Zwiſchenräume haben, den Schall ſo ſehr ſchwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt iſt, als bei Tage, auch beſſer gehört wird ꝛc.

333. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter ſie ſich vom ſchallenden Körper entfernen; ſo muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demſelben Verhältniſſe kleiner werden, und es müſſen auch dieſer Theile wenigere ſeyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom ſchallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom ſchallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieſelbe Weiſe afficirt wird, wie dieſes z. B. bei einer explodirenden Knallgasblaſe der Fall iſt, ſo wird der Schall in gleichen Entfernungen von dieſem Körper ringsum gleich ſtark wahrgenommen; wird aber dieſes Mittel an einigen Stellen ſtärker als an anderen afficirt, ſo muß es rings um den ſchallenden Körper ſelbſt bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall ſtärker erſcheint als an anderen, ja an einigen Stellen kann derſelbe ganz verſchwinden.

Eine ſchwingende Saite erregt nach der Richtung ihrer Ausbeugung eine verdichtete, nach der entgegengeſetzten gleichzeitig eine verdünnte Luftwelle, und geht man rings um die Saite herum, ſo kommt man von der Gegend, wo die verdichtete Welle gleichſam vorausgeht, in jene, wo dieſes mit der verdünnten der Fall iſt; an der Grenze beider kann demnach weder Verdünnung noch Verdichtung Statt finden, und daher wird dort das Ohr gar nicht afficirt werden. Bei Saiten ſind dieſe Grenzſtellen ſchwer zu finden (wiewohl an ihrer Exiſtenz nicht gezweifelt werden kann), weil man Saiten überhaupt ohne Reſonanzboden nicht weit genug hört, und das Mittönen eines Reſonanzbodens eine Störung hervorbringt; bei einem Stabe, den man durch einen Schlag nach der Quere zum Tönen bringt, trifft man dieſe indifferenten Stellen leicht, wenn man um ihn herumgeht, oder noch beſſer, wenn man ihn vor dem Ohre um ſeine Axe dreht. Am beſten gelingt dieſer Verſuch mit einer Stimmgabel, wo beide Zinken zur Erzeugung dieſes Phänomens zuſammenhelfen. Da tritt es auch ſo deutlich hervor, daß W. Weber ſogar die vier Flächen rings um die Gabel, wo kein Tönen vernommen wird, näher beſtimmen, und ihre hyperboliſche Krümmung nachweiſen konnte (Schweigg. J. 48. 385). Dreht man eine ſchwingende Stimmgabel vor der Mündung eines Cylinderglaſes von ſchicklicher Länge, damit die in demſelben befindliche Luftſäule mitklinge, und dadurch das Tönen der Gabel verſtärkt werde, ſo läßt ſich die Abhängigkeit der Stärke des gegen dieſe Luftſäule hin fortgepflanzten Klanges von der Stellung der Flächen der Zinken gegen die Mündung des Glaſes leicht mehreren zugleich hörbar machen. Stellt man das Ende eines tönenden Stabes oder die Zinken einer Stimmgabel in Waſſer, ſo werden die Bewegungen des Schallmittels gleichſam ſichtbar. (Chladni in Kaſt. Arch. 7. 62.) Läßt man eine Röhre ſich in zwei neben einander fortlaufende Arme theilen, vor

deren Mündungen man nach Belieben übereinſtimmend oder entgegengeſetzt ſchwingende Partien einer tönenden Platte halten kann, ſo zeigt eine über die Mündung am andern Ende des Rohres geſpannte Membrane im erſten Falle, durch die Bewegung darauf geſtreuten Sandes, daß die darunter befindliche Luftſchichte in Schwingungen verſetzt wurde, im zweiten Falle aber finden keine Schwingungen der Membrane Statt, weil die auf die darunter befindliche Luftſchichte gleichzeitig übertragenen entgegengeſetzten Bewegungen durch Interferenz einander aufheben.

Die größte bekannte Entfernung, auf welche ſich der Schall durch die Luft verbreitet hat, beträgt 75 deutſche Meilen; denn ſo weit will man die lauteſten Explosionen des Vulkans auf St. Vincenz gehört haben. Bei einer Belagerung von Genua hörte man Kanonenſchüſſe 22, bei Mannheim 21 deutſche Meilen weit; die ruſſiſche Hörnermuſik iſt faſt eine Meile weit hörbar. Einen Flintenſchuß vernimmt man auf 8000 Schritte, das Marſchiren einer Compagnie auf feſtem Boden, bei ruhiger Nacht, auf 1400—2000 F., einer Escadron Cavallerie im Schritte auf 1800 F., im Trapp oder Galopp auf 2600 F. Schweres Geſchütz hört man im Schritte 1600 F., im Trappe 2400 F. weit fahren. Eine ſtarke Männerſtimme hört man in freier Luft bei gewöhnlicher Temperatur 800 F. weit; zu Port Bowen konnte ein Mann mit einem, $^1/_4$ M. entfernten, noch leicht eine Unterredung führen. Perolle hörte das Tippen einer Uhr in der Luft noch bei 8 F., in Weingeiſt bei 12, in Terpentinöhl bei 14, in Olivenöhl bei 16, in Waſſer bei 20 Fuß Entfernung.

334. Theorie und Erfahrung beſtätigen es, daß ein Schall die Fortpflanzung eines anderen in demſelben Mittel nicht hindere, und daß man eine große Anzahl von Tönen auf einmal wahrnehmen und einen vom anderen unterſcheiden könne. Die Bewegung eines Theilchens des Mittels, durch welches ſich mehrere Töne gleichzeitig fortpflanzen, iſt die Reſultirende der einzelnen Bewegungen, und kann nach den allgemeinen Geſetzen der Zuſammenſetzung der Bewegungen gefunden werden. Die auf dasſelbe Theilchen gleichzeitig fallenden Verdichtungen oder Verdünnungen bewirken eine verſtärkte Verdichtung oder Verdünnung und daher auch eine Verſtärkung des Schalles; ein gleichzeitiges Zuſammentreffen einer Verdichtung und einer Verdünnung vermindert die Stärke des Schalles, oder hebt ihn ganz auf. Pflanzen ſich zwei nicht ganz gleichzeitige Schwingungen in der Luft oder in einem anderen Schallmittel in derſelben Richtung zugleich fort, ſo müſſen ſie ſich abwechſelnd verſtärken und ſchwächen, und dadurch jenes periodiſche Anſchwellen und Nachlaſſen der Töne bewirken, welches man das Schweben derſelben nennt. Folgen die Momente, wo die Töne am ſtärkſten ſind, d. h. die Schwebungen und Stöße ſchnell genug auf einander, ſo begründen ſie das Entſtehen eines dritten Tones, der tiefer iſt, als jene zwei, aus deren Zuſammentreffen er hervorgeht, und Combinationston genannt wird. Von dieſer Art iſt z. B. jener Ton, der aus dem gleichzeitigen Ertönen des Grundtones und ſeiner Terz hervorgeht, und der zweiten tieferen Octave gleich kommt. Da ſich nämlich die Schwingungszahlen des Grundtones zur Terz wie 4:5 verhalten, ſo erfolgt nach

je vier Schwingungen des erſteren ein Stoß. (Hallſtröm in Pogg. Ann. 24. 438. Weber, ebend. 28. 10. Scheibler, ebend. 32. 333.)

Die aus dem Zuſammenklingen zweier an Höhe wenig verſchiedenen Töne erfolgenden Stöße geſtatten ſehr wichtige Anwendungen. Sie können z. B. dazu gebraucht werden, zu finden, wie weit zwei Töne von einander an Höhe abſtehen, und ob ſie im Einklange ſind oder nicht. Denn wird ein Ton dem anderen ſucceſſiv genähert, ſo beginnen die Stöße, und verſchwinden erſt bei vollkommener Uebereinſtimmung der Töne. Immer iſt aber die Anzahl der Stöße in einer Secunde ſo groß als die Unterſchiede ihrer Schwingungen, letztere in dem S. 208 angeführten Sinne genommen. Machen demnach zwei Töne in einer Secunde drei Stöße, ſo vollbringt der höhere derſelben auch in einer Secunde um drei Schwingungen mehr als der andere.

335. Man kann durch Kunſt einen Schall ſo modificiren, daß er ſich ohne merkliche Abnahme ſehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geſchieht dieſes dadurch, daß man die Schallwellen mittelſt Röhren, die glatt genug ſind, um nicht ſelbſt in Schwingungen verſetzt zu werden, oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen. Dieſes bewirken: Das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr. Das Communicationsrohr (Fig. 135) iſt eine beliebig lange, cylindriſche Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen ſo fortgehen, wie 315 gezeigt wurde, ohne ſich zu erweitern und an Intenſität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall ſo gut, als wäre er zunächſt am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 136) iſt eine coniſche Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Oeffnung errregt, ſo modificirt werden, daß ſie ſelbſt nach ihrem Austritte in großer Entfernung vom Rohre eine ſtarke Intenſität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgeſtumpften Kegel vorſtellt, dieſe Dienſte, wenn nur zwiſchen beiden Oeffnungen und der Länge ein rechtes Verhältniß herrſcht; nach anderen verdient ein Kegel, deſſen Wände eine logiſtiſche oder hyperboliſche Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 137) iſt eine trichterförmige, kurze, meiſtens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Oeffnung eindringende Schallwelle gleichſam verdichtet wird, ſo daß einer, der dieſes Inſtrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall ſo gut hört, als wäre er zunächſt am Ohre hervorgebracht. (Siehe Lambert über einige akuſtiſche Inſtrumente. Berl., 1796.)

Außer der Höhe und Tiefe des Schalles, die ſeine Quantität ausmachen, ſollte auch ſeine Qualität erörtert werden; allein darüber hat die Phyſik bis jetzt wenig Auskunft ertheilen können. Es iſt ſehr wahrſcheinlich, daß die Qualität eines Tones von dem Geſetze abhängt, an welches die Geſchwindigkeit eines ſchwingenden Körpers während einer Schwingung gebunden iſt. Wahrſcheinlich liegt es in der Einfachheit und Complication dieſes Geſetzes, ob ein Schall ein bloßes Geräuſch oder ein Klang iſt, die verſchiedenen Charaktere des Schalles, welche man

mit den Worten: Brauſen, ſauſen, knarren, ziſchen, klatſchen, poltern, raſſeln, rauſchen, rollen ꝛc. ꝛc bezeichnet, deuten wohl nur auf verſchiedene, aber complicirte und durch das Zuſammentreffen mehrerer ungleichartigen Schalle verworrene Geſetze dieſer Geſchwindigkeiten hin.

E. Schwingungen ſelbſttönender Körper.

336. Wenn ein elaſtiſcher Körper an einer Stelle einen Stoß, Schlag ꝛc. erhält; ſo entſteht daſelbſt eine Welle, die bis zu den Grenzen dieſes Körpers fortſchreitet, daſelbſt aber reflectirt wird. Wiederholt ſich der Stoß ſchnell hinter einander, ſo begegnen die reflectirten Wellen den directen, ſie durchſchneiden ſich, und erzeugen ſo wie die Waſſerwellen (304) ſtehende Schwingungen. In dieſen Schwingungen beſteht nun das Selbſttönen der Körper. Sie unterſcheiden ſich von den Schwingungen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, in Folgendem: 1) Die Wellen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, ſchreiten ſelbſt fort; diejenigen hingegen, wodurch der Schall erzeugt wird, bleiben an einer Stelle, und es verwandelt ſich immer nur die Verdichtung in eine Verdünnung, die Excurſion nach einer Seite, in eine nach der entgegengeſetzten Seite. 2) Bei jenen Wellen haben die ſchwingenden Theile bei der größten Geſchwindigkeit die größte Abweichung von der natürlichen Dichte, und es iſt die Geſchwindigkeit dieſer Abweichung proportionirt; bei dieſen iſt die größte Geſchwindigkeit den Theilen eigen, welche ſich in ihrer natürlichen Lage befinden, bei der größten Abweichung von der natürlichen Lage hingegen iſt die Geſchwindigkeit am kleinſten (=0). Daraus folgt wieder, 3) daß eine ſchallerzeugende Welle fortdauert und ſich öfters wiederholt, wenn auch die erregende Urſache ſchon zu wirken aufgehört hat, jede fortpflanzende hingegen durch eine eigene Schwingung von jener Art hervorgebracht werden muß. Es klingt z. B. eine angeſchlagene Saite noch lange nach dem Schlage, ſobald ſie aber gedämpft wird, hört die fortſchreitende Schwingung augenblicklich auf.

337. Jeder elaſtiſche Körper kann ſchallen; damit aber ein Körper ſelbſt tönen könne, muß er den hierzu nöthigen Grad von Elaſticität und eine paſſende Geſtalt haben. Zum Tönen gehört nämlich eine Reihe gleichzeitiger, periodiſch wiederkehrenden ſchnellen Stöße. In einem nicht vollkommen elaſtiſchen Körper haben die reflectirten Wellen, ſelbſt wenn ſich der Körper im leeren Raume befindet, eine geringere Intenſität als die directen, und die Bewegung iſt nach wenigen Reflexionen geendet; in einem materiellen Mittel muß dieſes um ſo eher der Fall ſeyn, weil jede an den Grenzen des Körpers angelangte Welle einen Theil ihrer bewegenden Kraft an das Schallmittel abtritt. Darum tönt eine Bleimaſſe nicht, ſie mag wie immer geſtaltet ſeyn. Iſt der Körper unregelmäßig geformt, ſo treffen an jedem Punkte im Innern desſelben unzählige Wellen von allen möglichen Richtungen und von allen Graden der Verdichtung und Verdünnung zuſammen und heben ſich ſchnell auf. Darum tönt ein Glasklumpen nicht, wohl aber eine Glasplatte. Die Geſtalt eines tönenden Kör-

pers muß ſo beſchaffen ſeyn, daß die Stellen, wo ſich die Mitten einer reflectirten und einer directen Welle ſchneiden, und die ſogenannten Knotenlinien bilden, den ganzen Körper in Theile abtheilen, die unter einander und zum Ganzen in einfachen Verhältniſſen ſtehen. Es kommt aber auch auf die Art, Stärke und Richtung des Stoßes an, der den Körper zum Tönen bringen ſoll. Dieſer muß immer ſo beſchaffen ſeyn, daß die Länge der urſprünglich erregten, fortſchreitenden Welle ein aliquoter Theil der ganzen Dimenſion iſt, nach welcher der Stoß gerichtet war. Wenn mehrere Stöße hinter einander angebracht werden, ſo iſt es genug, wenn nur einige derſelben von der erwähnten Beſchaffenheit ſind, weil die ſchon gebildeten ſtehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieſes beim Streichen mit einem Violinbogen der Fall iſt. Da dieſen Bedingungen verſchiedene Wellen entſprechen, ſo wird ein tönender Körper auch mehrere Abtheilungen annehmen können, und bei jeder derſelben anders tönen; denn der Ton richtet ſich bloß nach der Größe und Geſtalt der ſchwingenden Theile. Es werden auch ſogar mehrere Eintheilungsarten zugleich an einem Körper vorhanden ſeyn können. Der Stoß muß auch nach einer Hauptdimenſion (Länge oder Breite des Körpers) gerichtet ſeyn, wenn obige Bedingung für die Abtheilung des ſchallenden Körpers eintreten ſoll. Darum wird es für tönende Körper faſt immer nur Längen- und Querſchwingungen (Longitudinal- und Transverſalſchwingungen) geben; bei runden Körpern gibt es eben darum auch drehende Schwingungen. Am häufigſten werden feſte und gasförmige Körper zum Selbſttönen gebracht, doch hat man in der neueſten Zeit auch tropfbare in ſelbſttönende Schwingungen zu verſetzen gelernt. Die gewöhnlichſten ſelbſttönenden Körper ſind: Die Luft, Saiten, geſpannte Membranen, Stäbe, ſowohl gerade als gekrümmte, wie Gabeln, Ringe, endlich Platten, ebene und krumme, wie Glocken, Gefäße 2c.

338. Die Luft dient in allen Blasinſtrumenten als tönender Körper; den dieſe Inſtrumente geben ſo lange denſelben Ton, als die darin enthaltene Luftſäule dieſelben Dimenſionen und dieſelbe Temperatur hat, ſie mögen aus was immer für einem Materiale beſtehen. Daß die Bewegung der Luft auf die Wände wirken und von dieſen wieder eine Rückwirkung auf die Luft erfolgen muß, und daß dieſe Rückwirkung von der Natur und Dicke der Wände abhängen kann, iſt für ſich klar; doch wird dadurch nur die Qualität und Stärke des Tones modificirt, und dieſer Umſtand kann durchaus nicht als Beweis angeſehen werden, daß die Wände den tönenden Körper abgeben. (Pellisov in Schweigg. J. 67. 169, 227; 69. 289.) Die Schwingungen der Luft ſind Längenſchwingungen. Sie werden erregt, indem man 1) die eingeſchloſſene Luftſäule an einem Ende durch Hineinblaſen verdichtet, wie dieſes bei Waldhörnern, Trompeten 2c. geſchieht. 2) Einen ſchmalen Luftſtrom vorbeiſtreichen läßt. Dieſes thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblaſen in einen Schlüſſel, in eine Flöte 2c. 3) Durch einen

Luftſtrom, den man durch eine Spalte bläſt, ein elaſtiſches Plättchen in Schwingungen verſetzt, das nun die Oeffnung abwechſelnd herſtellt und ſchließt, und ſo regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeife ausübet. Dieſes iſt bei den Rohrwerkpfeifen der Orgeln und bei den Blaſinſtrumenten, welche Mundſtücke haben, der Fall. Durch eine ſolche Reihe regelmäßig auf einander folgender Stöße wird auch der Ton in der ſogenannten chemiſchen Harmonica und im Trevelyan'ſchen Inſtrument (einem erhitzten und mit geringer Stabilität auf einem kalten Bleikloß liegenden Metallſtücke, Fig. 138) erregt. In erſterer werden nämlich die Stöße durch die ſchnell auf einander folgenden Verpuffungen, welche das Verbrennen des Waſſerſtoffgaſes begleiten, erzeugt, im letzteren hingegen durch die ſchnellen Schwankungen des Metallſtückes, welche die aus der Erwärmung des Bleies und der Abkühlung des Metallſtückes hervorgehenden Ausdehnungen und Zuſammenziehungen verurſachen (Zeitſch. n. F. 3. 79). 4) Indem man einen ſchon ſchwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeiſe zum Anſprechen gebracht, wenn man eine ſchwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. Durch dieſe Arten, ſchallende Luftſchwingungen zu erregen, wird unmittelbar nur eine Welle erzeugt, deren Länge einen beſtimmten, aliquoten Theil der Pfeifenlänge beträgt, und die vom Ende, wo ſie erregt wurde, bis zum entgegengeſetzten fortſchreitet, an dieſem aber reflectirt wird. Der Erfolg dieſer Reflexion iſt verſchieden, je nachdem die Röhre offen oder gedeckt iſt. Im erſteren Falle wird durch die Reflexion der verdünnte Theil der Welle in einen verdichteten und umgekehrt verwandelt, im zweiten behält jeder Theil nach der Reflexion ſeinen Charakter bei. Die Urſache der Umkehrung der Ordnung im erſteren Falle liegt darin, daß die verdichteten Lufttheile an der Oeffnung leichter ausweichen können, als innerhalb derſelben, weil ihnen dieſes nach allen Seiten geſtattet iſt, während die in der Röhre befindlichen nur vorwärts gehen können.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife iſt aus Fig. 139 a und b zu erſehen; a ſtellt eine ſolche perſpectiviſch, b im Längendurchſchnitte vor. Sie beſteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem coniſchen unteren Theile A B C, dem Stiefel oder Windrohre, der unten offen, oben mittelſt einer Querplatte B C bis auf eine enge Spalte in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geſchloſſen iſt, und aus der eigentlichen Pfeife B C D E, deren unterer, in der Nähe von B befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen iſt, und ebenfalls eine Lefze bildet; zwiſchen den beiden Lefzen iſt ein Einſchnitt. Die Luft wird durch A in den Stiefel geblaſen, bricht ſich in B, dringt durch die viereckige Oeffnung heraus, und erregt ſo in der Pfeife Schwingungen. Eine Rohrwerk- oder Zungen-Orgelpfeife (Fig. 140) beſteht, wie die vorhergehende, aus einem Fuße A B C, durch welchen die Luft eingeblaſen wird, und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpſel vom Fuße getrennt iſt. Die Communication zwiſchen beiden iſt aber nicht bloß, wie bei einer Flötenwerkspfeife, durch eine einfache feine Spalte hergeſtellt, ſondern durch eine hölzerne Rinne a b, welche durch den Stöpſel geht, und im Fuße mit

einem elaſtiſchen Metallplättchen (Zunge) geſchloſſen iſt, daß die Rinne mehr oder weniger ſchließt, je nachdem man die Krücke c weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die ſogenannten Mundſtücke mancher Blasinſtrumente ſind wie eine ſolche Pfeife eingerichtet. An einigen wird das Plättchen ſelbſt in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und dieſe verdienen im eigentlichen Sinne Mundſtücke genannt zu werden.

339. Die Tonhöhe eines Blasinſtrumentes richtet ſich im Allgemeinen nach den Dimenſionen der ſchwingenden Luftſäule und nach dem Verhältniſſe der Expanſivkraft der Luft zu ihrer Dichte; in vielen Fällen hat auch die Geſtalt dieſer Säule, die Größe und Lage des Mundloches, die Beſchaffenheit der Wände und die Art des Anblaſens darauf Einfluß.

340. In Flötenwerkpfeifen und in Blasinſtrumenten, welche dieſen ähnlich ſind und feſte Wände haben, hängt die Tonhöhe bloß von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab, und iſt ihr verkehrt proportionirt, vorausgeſetzt, daß die Längendimenſion einer ſolchen Pfeife ihre Breite mehr als ſechsmal übertrifft, und die Erſchütterung an der ganzen Mündung erfolgt. Die Art des Anblaſens, und der Umſtand, ob die Pfeife gerade oder gekrümmt iſt, hat darauf keinen Einfluß. Nach außen divergirende Pfeifen geben einen etwas höheren, convergirende einen etwas tieferen Ton, als ſolche, welche parallele Wände haben. Es laſſen ſich mit einer ſolchen Pfeife mehrere Töne hervorbringen, weil ſich die Luft in verſchiedene, durch Schwingungsknoten von einander getrennte Theile theilen kann. Die Folge der Tonverhältniſſe einer ſolchen Pfeife iſt verſchieden, je nachdem die Pfeife beiderſeits offen oder auf einer Seite geſchloſſen (gedeckt) iſt. In einer ganz offenen Pfeife theilt ſich die Luft bei der einfachſten Schwingungsart in zwei auf dieſelbe Weiſe aber nach entgegengeſetzten Richtungen ſchwingende Hälften ſo, daß in der Mitte ein Schwingungsknoten Statt findet, an welchen ſich die Lufttheilchen während der Verdichtung von beiden Seiten mit gleicher Kraft anſtemmen (Fig. 141), und da gibt ſie auch den tiefſten Ton, deſſen ſie fähig iſt. Dieſe Schwingungsart entſteht, wenn an dem einen Ende der Pfeife eine Reihe auf einander folgender Wellen erregt wird, deren jede doppelt ſo lang iſt als die Pfeife. Würde eine Welle an jedem Ende der Luftſäule ungeſchwächt reflectirt, ſo wäre dazu eine einzige Welle von genannter Länge hinreichend. Den Hergang des Zuſammenwirkens der fortſchreitenden Theile der Welle zur Bildung der ſtehenden Schwingung der Luft, worin das Tönen der Pfeife beſteht, ſtellt Fig. 142 vor, worin die Krümmungen aufwärts Verdichtungen, die Krümmungen abwärts Verdünnungen der Luft bedeuten, und die Pfeile die Richtungen der den Verdichtungen oder Verdünnungen proportionirten Geſchwindigkeiten der Lufttheilchen anzeigen. Die Richtung des Fortſchreitens der Welle ſtimmt im verdichteten Theile mit den Richtungen der Geſchwindigkeiten der oscillirenden Lufttheilchen überein, im verdünnten iſt ſie dieſen entgegengeſetzt. Bei der Reflexion an den Enden der Röhre geht ein verdichteter Wellentheil in einen verdünnten

und umgekehrt über. In der Mitte der Röhre haben die Lufttheilchen ſtets gleiche und entgegengeſetzte Geſchwindigkeiten, und bleiben daher in Ruhe, nur wechſelt daſelbſt Verdichtung mit Verdünnung ab, da hier bald zwei verdichtete bald zwei verdünnte Wellentheile zuſammen wirken. Bei der zweiten Art (Fig. 143) entſtehen zwei Knoten, deren jeder um $^1/_4$ der ganzen Länge von einem Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Octave höher, als der erſtere. Dieſe Schwingungsart wird hervorgebracht, wenn die Länge der in die Pfeife eintretenden Wellen jener der Pfeife gleichkommt. Ihre Entſtehung zeigt Fig. 144. Bei der dritten Schwingungsart, welche entſteht, wenn die Länge der in der Pfeife erregten Wellen $^2/_3$ der Länge der Pfeife ausmacht, ſind drei Knoten, wovon einer in der Mitte liegt, während jeder der zwei anderen um $^1/_6$ der ganzen Pfeifenlänge von einem Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Quinte höher, als der vorige u. ſ. w. Iſt n die Anzahl der Schwingungen binnen einer Secunde bei der erſten Schwingungsart, l die Länge der Pfeife, v die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft, ſo beſteht, weil die Länge einer Welle der Weg iſt, den der Schall binnen einer Schwingung in der Luft zurücklegt, die Gleichung $2nl = v$, welche $n = \frac{v}{2l}$ und $l = \frac{v}{2n}$ gibt. Wird die hiebei ſtattfindende Tonhöhe als Einheit betrachtet, ſo drücken die natürlichen Zahlen 2, 3, 4 ꝛc. die Töne aus, welche der zweiten, dritten, vierten Schwingungsart ꝛc. entſprechen. Es geſtattet daher jedes Inſtrument, welches aus einem beiderſeits offenen Rohre ohne Seitenlöcher beſteht, nur eine gewiſſe Folge von Tönen, die deſto näher an einander liegen, je weiter ſie vom tiefſten Tone, den die Pfeife geben kann, abſtehen, und man begreift leicht, warum man verſchiedene Aufſätze (Waldhorn, Trompeten) braucht, oder warum die Pfeife einer Verlängerung oder Verkürzung fähig ſeyn muß (Poſaune), um alle Töne der chromatiſchen Tonleiter hervorbringen zu können. In einer g e d e c k t e n Pfeife bewegt ſich die Luft bei der einfachſten Schwingungsart abwechſelnd gegen das gedeckte Ende zu und wieder von da zurück, und gibt ſo den tiefſten Ton (Fig. 145). Dieſe Schwingungsart entſteht, wenn die Länge der in der Pfeife erregten Wellen $^1/_4$ der Länge der Pfeife beträgt. Die Hervorbringung der ſtehenden Schwingung der Luft zeigt Fig. 146. Bei der Reflexion am geſchloſſenen Ende der Röhre erzeugt ein verdichteter oder verdünnter Wellentheil einen gleichartigen, am offenen Ende dagegen einen von entgegengeſetzter Beſchaffenheit. Bei der zweiten Schwingungsart entſteht ein Schwingungsknoten, der um $^1/_3$ der Pfeifenlänge vom offenen Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Octave und eine Quinte höher als im vorigen Falle (Fig. 147). Die Entſtehung dieſer Schwingungsart zeigt Fig. 148. Ueberhaupt nehmen mit wachſender Anzahl der Schwingungsknoten die Schwingungszahlen zu wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 ꝛc. In Inſtrumenten mit Seitenlöchern (Flöte) wird die Länge der ſchwingen-

genden Luftſäule durch das Oeffnen oder Schließen dieſer Löcher modificirt und ſo der Ton erhöht oder erniedriget. — Vergleicht man den Ton, welchen eine offene prismatiſche oder cylindriſche Pfeife bei der einfachſten Schwingungsart gibt, mit dem einer gleich langen gedeckten Pfeife, in der ebenfalls die einfachſte Schwingungsart Statt hat; ſo findet man jenen um eine Octave höher als dieſen. Der Ton einer nur zum Theile gedeckten Pfeife iſt höher als der einer gleich langen ganz gedeckten und tiefer als der einer ganz offenen. Hieraus erklärt ſich der Kunſtgriff der Waldhorniſten, mit der Hand am Trichter des Inſtrumentes den Ton etwas zu ändern, und das Stimmen einer Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgeſetzten Platte. Kegelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man ſie an der engeren Seite anbläſt, wohl auch einen höheren Ton, als einerſeits geſchloſſene von denſelben Dimenſionen; jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in erſteren höher iſt als in letzteren. Je größer dieſer Winkel iſt, deſto mehr Intervalle liegen zwiſchen dem Grundtone einer offenen und dem einer geſchloſſenen Pfeife. In der Regel betragen ſie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

Die Lage der Schwingungsknoten und der ſtärkſten Bewegung der Lufttheile in einer tönenden, weiten Pfeife kann man nach Savart dadurch finden, daß man die Röhre vertical ſtellt, in ſie, während ſie tönt, ein dünnes, über einen Ring geſpanntes, wie eine Wagſchale an Fäden hängendes, mit feinem Sande beſtreutes Häutchen immer mehr und mehr hineinſenket, und dabei ſtets die Bewegung des Sandes beobachtet, die an der Stelle der Schwingungsknoten völlig aufhört, an den Stellen der ſtärkſten Vibration aber am heftigſten iſt. Die Methode, den Ort eines Knotens einer offenen Pfeife dadurch zu beſtimmen, daß man einen Kolben ſo weit in dieſelbe hineinſchiebt, bis die nun als gedeckt anzuſehende Pfeife wieder denſelben Ton von ſich gibt, wie bei der einfachſten Schwingungsweiſe im offenen Zuſtande, und die Länge des eingeſchobenen Kolbenſtückes für die Länge der ſchwingenden Luftſäule anzuſehen, iſt, Dulong's Verſuchen (Zeitſch. 6. 474.) gemäß, unſicher; doch kann man durch dieſes Mittel das Verhältniß der Schwingungszahlen gleicher Säulen verſchiedener Gaſe richtig finden, weil bei allen Gaſen die Knotenfläche auf dieſelbe Stelle fällt.

341. Der Ton einer Pfeife iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto höher, je größer die Ausdehnſamkeit der Luft im Vergleiche gegen ihre Dichte iſt. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Waſſerſtoffgas anſpricht, einen höheren Ton als eine mit atmoſphäriſcher Luft, und eben deßhalb iſt der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht ſich der Ton während des Anblaſens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeife keinen tieferen oder höheren Ton als bei gleicher Temperatur an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimenſionen, die in verſchiedenen Luftarten anſprechen, hat man zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit des Schalles in dieſen Luftarten benützt, indem man von dieſen Tonhöhen auf die Anzahl n der Schwingungen während einer Secunde

ſchloß, die in einer gegebenen Zeit geſchehen, und aus dieſer und der gegebenen Pfeifenlänge l, nach der oben angeführten Formel $v = 2 n l$, den von der Welle binnen einer Secunde zurückgelegten Weg v berechnete. So fand man die in 319 angegebenen Werthe für die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gasarten. Ueber die Anwendung der Verſchiedenheit des Tones einer Pfeife bei verſchiedenen Temperaturen zu pyrometriſchen Beſtimmungen (akuſtiſches Pyrometer) ſ. Pogg. Ann. 39. 580.

342. Der Ton einer Pfeife, deren Durchmeſſer mehr als $^1/_6$ ihrer Länge beträgt, und einer ſolchen, wo die Luftmaſſe an der Mündung nur zum Theil erſchüttert iſt, hängt von der Art des Anblaſens und von der Größe und Lage des Mundloches ab. Man kann bloß durch Modification des Luftſtromes alle Töne innerhalb $1^1/_2$ — 2 Octaven hervorbringen. Dieſes zeigt ſich beſonders an jenem kleinen Inſtrumente, womit die Jäger die Stimmen verſchiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8 — 9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre beſteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geſchloſſen, in der Mitte mit einem kleinen Loche verſehen iſt. Dieſes Inſtrumentchen wird zwiſchen die Lippen genommen und gibt ſehr verſchiedene Töne, je nachdem man ſtärker oder ſchwächer bläſt. Man kann ſeine Größe und Geſtalt auf vielfache Weiſe abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des Inſtrumentes hervorzubringen, als die, daß ſich bei einem größeren Volum desſelben tiefe Töne leichter hervorbringen laſſen, als höhere. Im Allgemeinen iſt der tiefſte Ton deſto tiefer, je weiter die Oeffnung iſt. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beſchaffenheit der Wände einen ſehr großen Einfluß. Sind dieſe einer verſchiedenen Spannung fähig, ſo wird der Ton deſto tiefer, je geringer dieſe Spannung iſt. Demnach müſſen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elaſtiſchen Wänden den größten Tonumfang haben.

343. Eine Zungenpfeife iſt ein aus zwei ſchwingenden Körpern, der Luftſäule und der elaſtiſchen Platte, beſtehendes Inſtrument; ſeine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieſer beiden Beſtandtheile beſtimmt werden, die durch ihre Verbindung von einander abhängig geworden ſind und ſich gegenſeitig dahin abändern, daß ſie gleichzeitig ſchwingen. Die Tonhöhe einer ſolchen Pfeife hängt demnach von der Elaſticität und den Dimenſionen des Plättchens und von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab. Ein voller und ſtarker Ton einer ſolchen Pfeife wird bloß von den auf das Plättchen wirkenden Luftſtößen hervorgebracht, und ſeine Höhe wird faſt ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens beſtimmt; denn dieſe Höhe ändert ſich nur ſehr wenig, wenn man die ſchwingende Luftſäule ganz wegnimmt, wie dieſes bei der ſogenannten Physharmonica der Fall iſt. Setzt man an das Mundſtück eine offene Röhre an, deren Luftſäule mit dem Plättchen im Einklange tönt, und deren Länge = a iſt, ſo wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftſäule anfangs kürzer als $^1/_4$a und läßt ſie allmählich bis a

wachſen; ſo ändert ſich die Tonhöhe in der erſten Hälfte der Verlängerung nur ſehr wenig, in der zweiten aber bedeutend, im Ganzen um eine Octave. Hiermit iſt aber auch gewöhnlich die Tonreihe, welche man durch allmähliches Verlängern der Luftſäule hervorbringen kann, geſchloſſen. Geht dieſe Verlängerung über die angegebene Grenze hinaus, ſo ſpringt der Ton plötzlich wieder auf den erſten zurück, und dieſer wird nur durch abermaliges Verlängern der Luftſäule tiefer. Wird die Luftſäule von a auf 2a, 3a ꝛc. verlängert, ſo ſinkt der Ton um eine Quart, um eine kleine Terz u. ſ. f. Es machen demnach die Zunge und die Luftſäule immer nur ein ſchwingendes Syſtem aus. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

344. In die Klaſſe derjenigen Inſtrumente, in denen die Luft als ſchallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere nnd Menſchen. Das Stimmorgan des Menſchen beſteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lunge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf iſt eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabſchnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, ſo angebracht ſind, daß ſie die Luftröhre bis auf eine ſchmale Spalte, die Stimmritze ſchließen können. Dieſe Bänder können geſpannt und nachgelaſſen werden, ſo daß ſich die Stimmritze verengen und erweitern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, ſo erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgeſtoßen, ſo entſteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Huſten erfolgt auf dieſe Weiſe. Wird aber die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch ſie getrieben, ſo erſcheint erſt der gehörige Ton. Die Luft ſchwingt im Stimmorgane, wie in einer coniſchen Zungenpfeife; doch gibt eine ſolche nur dann einen der menſchlichen Stimme ähnlichen Laut, wenn die Zunge beim Schwingen nicht auf den Rand der Rinne, welche ſie abwechſelnd öffnet und ſchließt, ſchlägt, ſondern ohne anzuſtoßen ein- und auswärts oscilliren kann. (Willis in Pogg. Ann. 24. 397.) Ungeachtet des geringen Rauminhaltes iſt doch das Stimmorgan vieler Töne fähig, weil ſein unterer Theil elaſtiſche Wände hat, die eine verſchiedene Spannung annehmen können, weil durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes die Dimenſionen der Luftſäule bedeutend abgeändert werden können; endlich weil ſich der Stimmapparat mittelſt der Lippen bald ſchließen bald öffnen läßt, und er daher bald wie eine offene bald wie eine geſchloſſene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verſchiedene Biegung der Zunge, und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der ſchwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verſchiedene Articulation der menſchlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur Vögel, Säugthiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derſelben haben auch die hängenden Membranen, die man im menſchlichen Stimmorgane findet; das

Stimmorgan einiger Thiere beſteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitſch. I. 12.)

345. Die Inſtrumente, in welchen die Luft der tönende Körper iſt, haben das Eigene, daß ſie nicht wie Saiteninſtrumente nachklingen, ſondern zu tönen aufhören, ſobald die den Schall erregende Urſache aufhört zu wirken. Die Urſache liegt darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeife zurückgeworfene Welle ſtets ſchwächer iſt, als die auffallende, von der ſie abhängt, daher ſie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intenſität hat.

Die tönenden Schwingungen tropfbarer Flüſſigkeiten ſind noch nicht ſo weit unterſucht, daß ſie einen ſelbſtſtändigen Theil der Akuſtik abgeben könnten. Die dabei ſtattfindende Bewegung der Molekel ſcheint in einer Ausdehnung und Zuſammenziehung zu beſtehen, welche eine Störung der Continuität der Maſſe und eine Vergrößerung der Poren derſelben hervorbringen. Man erregt ſie durch Reibung einer einerſeits geſchloſſenen, Waſſer oder eine andere tropfbare Flüſſigkeit enthaltenden Röhre. Eine Waſſerſäule von 1 M. Höhe gibt einen Ton, welchem 790 Schwingungen in 1 Sec. entſprechen, doch ändert ſich dieſe Schwingungszahl unter beſonderen Verhältniſſen, wie z. B. mit dem Durchmeſſer und der Länge der Glasröhre. Eine heberförmig gebogene gleichſchenklige Röhre kann ſelbſt beiderſeits offen ſeyn, und die darin enthaltene Waſſerſäule wird doch durch Reiben in tönende Schwingungen verſetzt, was bei einer geraden, beiderſeits offenen bisher nicht gelingen wollte. Iſt die Waſſerſäule im Heber gerade ſo lang wie die in der einerſeits geſchloſſenen Röhre, ſo iſt ihr Ton um 1 Octave höher als jener der letzteren. Verſchiedene Flüſſigkeiten geben bei gleicher Länge der Säulen verſchiedene Töne, es richtet ſich aber die Tonhöhe nicht nach der Dichte der Flüſſigkeiten. Eine 20 Z. hohe Waſſerſäule macht in der Sec. 1478, eine eben ſo hohe Alkoholſäule von 36° B. 1400, eine Säule von Salzſäure 1272, eine von Schwefelſäure (60° B.) 1280, von einer Chlorcalciumlöſung (13° B.) 1488, und von Queckſilber 640 Schwingungen.

346. Eine **Saite** kann **transverſal** und **longitudinal** ſchwingen. **Querſchwingungen** einer Saite werden hervorgebracht, wenn man einen Geigebogen rechtwinkelig auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Ihr Ton iſt deſto höher, je kürzer, dünner und je weniger dicht ſie iſt, und je mehr ſie geſpannt worden. Sie ſchwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excurſion die Geſtalt a und b an (Fig. 149), wo c d die ruhende Saite vorſtellt, oder ſie ſchwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten ſchwingt ſie ſo wie Fig. 150 AFDfB, mit zweien ſo, wie Fig. 151 zeigt. Man kann eine ſolche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man ſie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger ſanft berührt, und den kürzeren Theil mit dem Bogen ſtreicht. Man hört da nicht den Hauptton der Saite, ſondern ihre zweite Octave, zum Beweiſe, daß jeder vierte Theil der Saite allein ſeine Schwingungen gemacht habe. Setzt man auf verſchiedene Punkte der Saite, mitunter auch auf die, welche ſie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierſtreifen wie Reiter,

und verfährt wie vorhin; ſo bleiben die auf die Viertheilungspunkte aufgeſetzten allein ſitzen, und die übrigen ſpringen herab. Spannt man zwei gleich dicke Saiten neben einander, wovon die Länge der einen ein Vielfaches von der Länge der anderen iſt; ſo darf man nur die kürzere Saite mit einem Bogen ſtreichen, um bei der anderen eine ſolche Abtheilung zu bewirken, daß ſie mit der kürzeſten im Einklange tönt, und mittelſt papierner Reiter kann man die Knoten wieder ſichtbar machen. Solche Abtheilungen bewirkt man, wenn man eine Saite nahe an einem ihrer Befeſtigungspunkte ſehr leiſe mit dem Bogen ſtreicht, oder während eines leichten Striches am gehörigen Platze einen Finger leicht auffetzt, wie man dieſes beim Hervorrufen der Flageolettöne thut. Die Abtheilung einer Saite in mehrere durch Schwingungsknoten getrennte ſchwingende Theile iſt eine Folge des Zuſammenwirkens directer und an den Befeſtigungspunkten reflectirter Wellen zur Bildung einer ſtehenden Oſcillation. Der Hergang dieſer Bildung läßt ſich auf dem in 340 betretenen Wege leicht nachweiſen, wenn man darauf Rückſicht nimmt, daß durch Reflexion immer die Ausbeugung nach einer Seite in eine entgegengeſetzte übergeht. Es kann eine Saite ſogar der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge ſchwingen.

Verſetzt man z. B. eine hinreichend lange, am beſten mit Metall überſponnene Darmſaite in Querſchwingungen; ſo hört man nebſt dem Hauptone, den ſie gibt, wenn ſie nach der ganzen Länge ſchwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar die nächſt höhere Octave, die Quinte dieſer Octave u. ſ. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben iſt, ſo muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil ſchwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u. ſ. f., mithin muß ſie ſich in Stücke theilen, deren Länge $1/2$, $1/3$, $1/4$ ꝛc. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß ſo ſchwingen, als wäre er für ſich beſtehend. Eine Saite die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt, ſchwingt, muß nothwendig eine Geſtalt annehmen, die aus der Geſtalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zuſammengeſetzt iſt. Hat z. B. die Saite A B (Fig. 150) die Krümmung A H B, wenn ſie der ganzen Länge nach ſchwingt, hingegen die Geſtalt A F D f B, wenn jede ihrer Hälften ſchwingt; ſo entſteht aus dieſen beiden die Krümmung A E C h B, die man erhält, wenn man $HE = GF$ und $eh = fg$ macht, endlich durch A, E, C, h, B die Curve zieht. Daß eine tönende, nach der Quer ſchwingende Saite nicht gerade in der Mitte ihre größte Ausbeugung haben muß, und daß dieſe, der Tonhöhe unbeſchadet, an jeder Stelle zwiſchen den zwei Enden Statt finden kann, iſt für ſich klar. Eine Saite hat bei der größten Ausbeugung immer die größte Länge und Spannung. Ruhen die Enden einer Saite nicht auf ſcharfen, ſondern auf nach einem beſtimmten Geſetze abgerundeten Stegen; ſo muß ſich die Saite nach Maßgabe ihrer größeren oder kleineren Excurſion mehr oder weniger abwickeln, und ihre durch dieſes Abwickeln vermehrte Verlängerung kann durch die vermehrte Spannung genau compenſirt werden, ſo daß bei größeren und kleineren Excurſionen Töne von gleicher Höhe entſtehen. (Weber in Pogg. Ann. 28. 1.)

347. Längenſchwingungen werden erregt, wenn man den Bogen unter einem ſehr ſpitzen Winkel auf die Saite aufſetzt und ſie

damit ſtreicht. Dabei ziehen ſich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechſelnd zuſammen, und dehnen ſich wieder aus. Schwingt die Saite A B (Fig. 152) ohne Schwingungsknoten, ſo ſtützen ſich ihre Theile bei der Bewegung an die befeſtigten Enden; berührt man ſie in der Mitte C leicht, ſo bildet ſich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen ſich abwechſelnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weiſe kann man eine Abtheilung in 3, 4 ꝛc. Theile, mithin 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $^1/_3$ oder $^1/_4$ ꝛc. ihrer Länge ſanft berührt. Nimmt man die Schwingungsanzahl der ganzen Saite als Einheit an, ſo laſſen ſich die Schwingungszahlen bei 1, 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4 ꝛc. ausdrücken. Die Geſetze der Längenſchwingungen haben mit denen der transverſalen nichts gemein, als daß ſich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet, und die Schwingungszahlen dieſer Länge verkehrt proportionirt ſind; aber die durch Längenſchwingungen hervorgebrachten Töne ſind durchaus höher als jene, welche bei Querſchwingungen derſelben Saite entſtehen, gar nicht von der Dicke und, beſonders bei ſehr langen und dicken Metallſaiten, ſehr wenig von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Verſuchen über dieſe Schwingungen ſehr lange Saiten nehmen.

Die Längenſchwingungen ſtehen zu den transverſalen in einer ſolchen Beziehung, daß ſich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei erſteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Verlängerung. Die Schwingungen einer Saite mögen transverſal oder longitudinal ſeyn, ſo bewegen ſich ihre kleinſten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinſten Theile von einander Statt finden kann, und in ſofern iſt es wohl begreiflich, daß transverſale Schwingungen faſt immer von longitudinalen begleitet ſind und umgekehrt, ſo wie daß eine transverſal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, und in ſofern beſteht das Tönen einer Saite allerdings in einer Molecularbewegung; aber dieſe Bewegung iſt in der That eine oscillirende, weil die Theilchen nach einer und dann nach der entgegengeſetzten Richtung aus der Lage des Gleichgewichtes treten; der Inbegriff dieſer Bewegungen aller Theile macht nun die Bewegung der Saite aus, und dieſe iſt auch eine oscillirende. Darum ſagt man auch ſchlechtweg das Tönen einer Saite entſtehe durch die oscillirende Bewegung derſelben. (Vergleiche Pelliſov in Schweigg. 67. 169.)

348. Eine ſchmale, nur der Länge nach geſpannte Membrane ſchwingt ſo wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfaſern bilden eine Knotenlinie. Iſt dieſe Membrane breiter, ſo befolgt ſie in ihren Schwingungen Geſetze, wie elaſtiſche Scheiben, von denen in der Folge die Rede ſeyn wird. Eine allerſeits geſpannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei dieſen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieſelben Verhältniſſe, wie bei Saiten; aber

einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es ſind manche, die bei Saiten Statt finden, für geſpannte Membranen ganz unmöglich. Durch aufgeſtreuten Sand kann man die Schwingungsknoten an geſpannten Membranen ſichtbar machen. Dieſes geht beſonders leicht von Statten bei geſpannten, dünnen Häutchen aus Kautſchuk, die man durch einen Luftſtoß zum Tönen bringt, indem man in eine ſenkrecht gegen das Häutchen ſtehende, aber dasſelbe nicht berührende Röhre bläſt. (Marx in Pogg. J. 65. 148; 66. 109.)

349. Die Schwingungen elaſtiſcher Stäbe geſchehen nach anderen Geſetzen, als die der Saiten, weil ihre Elaſticität nach allen Richtungen, nicht bloß nach der Länge, wirkt. Da ſie für ſich, ohne künſtliche Spannung, ſchon elaſtiſch ſind; ſo kann man die Verſuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern, man kann ſie entweder an einem Ende, oder nur in der Mitte, oder an beiden Enden befeſtigen, an einem Ende an einen harten Körper anſtemmen, am anderen frei laſſen oder befeſtigen, oder endlich an beiden Enden anſtemmen.

350. Wenn man ſolche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasſtangen oder ſchmale Glasſtreifen, mit einem Bogen rechtwinkelig ſtreicht; ſo geben ſie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der Dicke, und im verkehrten mit dem Quadrate der Länge ſteht. Sollen Schwingungsknoten entſtehen, ſo darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann ſtreichen; an flachen Stäben kann man die Schwingungsknoten durch Sand ſichtbar machen. Da zeigt es ſich, daß ſich alle an einem parallelepipediſchen Stabe möglichen Knotenlinienſyſteme in gewiſſe Klaſſen bringen laſſen, nach Maßgabe der Anzahl der Stellen, wo ſie die Axe der ſchwingenden Fläche des Stabes ſchneiden. Die in eine Klaſſe gehörigen ſchneiden dieſe Axe nicht bloß in gleich vielen, ſondern auch genau an denſelben Stellen. Mit der Anzahl der Schwingungsknoten nimmt die Höhe des Tones zu. Den tiefſten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten ſchwingt, wie AB in Fig. 153. Iſt dieſer in A befeſtigt, in B aber frei, ſo macht er beim Schwingen mit ſeiner Richtung AB im ruhigen Zuſtande Winkel, deren Scheitel im befeſtigten Punkte A liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird dieſe Richtung in ſo vielen Punkten durchſchnitten, als Schwingungsknoten vorhanden ſind. Bei einem derſelben ſchwingt er, wie Fig. 154, bei zweien, wie Fig. 155 zeigt. Iſt der Stab in A bloß angeſtemmt, in B ganz frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingungsart ſchon einen Schwingungsknoten, aber ſeine Geſtalt weicht von der in Fig. 154 bezeichneten ab, und iſt mehr gekrümmt, indem ſich da die Theile ſchon nahe am angeſtemmten Punkte mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingung ſchon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderſeits angeſtemmter Stab ſchwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja ſelbſt wenn er an beiden Enden befeſtigt iſt, haben ſeine

Schwingungen noch mit denen der Saiten viele Aehnlichkeit, es ſind aber ſowohl die Tonverhältniſſe als auch die Krümmungen von denen eines beiderſeits bloß angeſtemmten Stabes merklich verſchieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlſtab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubſtock ein, und verſetzt ihn durch einen Hammerſchlag in Querſchwingungen; ſo kann man die Geſtalt desſelben beim Oscilliren und den Ort ſeiner Schwingungsknoten genau ſehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, ſo gibt dieſes, vom Sonnenlichte oder von einer Kerzenflamme beleuchtet, beim Schwingen ſehr ſymmetriſche Figuren. Wheatſtone's Kaleidophon. (Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerſeits befeſtigten, andererſeits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten ſchwingt, verhalten ſich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Iſt ein Ende angeſtemmt, das andere frei, ſo folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 ꝛc.; ſind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Die Tonreihe eines beiderſeits angeſtemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc., die eines beiderſeits befeſtigten den Quadraten von 3, 5, 7 ꝛc. Ein einerſeits befeſtigter, andererſeits angeſtemmter Stab befolgt dasſelbe Geſetz der Tonreihe, wie ein einerſeits angeſtemmter, andererſeits freier. Die Lage der Knotenlinien eines elaſt. Stabes kann man durch Verſuche, noch beſſer aber durch Rechnung beſtimmen. (D. Bernoulli in *Com. Acad. Petrop. tom.* 8; Euler in *Act. Acad. Petrop.* 1779. 1. 103; Strehlke in Pogg. Ann. 27. 505.)

351. Reibt man einen elaſtiſchen, hinreichend langen, glatten, möglichſt geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten oder mit Bims überſtreuten Lappen; ſo geräth er in Längenſchwingungen. Glasſtreifen verſetzt man in ſolche Schwingungen am leichteſten durch einen Schlag, oder durch Reiben eines mit demſelben der Länge nach verbundenen Glasſtabes. Bei dieſen Schwingungen geben die Stäbe Töne, die ſich zu den bei Querſchwingungen entſtandenen ſo verhalten, wie die der Saiten. Beſtreut man den Stab mit Sand, ſo häuft ſich dieſer an den Ruheſtellen an, und macht ſie ſichtbar.

Savart hat (*Ann. de Ch.* 25. 255) die Lage der Schwingungsknoten longitudinal ſchwingender, hohler und maſſiver Cylinder, ſo wie die eben ſo ſchwingender, ſchmaler, langer Platten unterſucht, und mehrere intereſſante Reſultate gefunden. Er hielt zur Erreichung dieſes Zweckes die zu unterſuchenden Cylinder horizontal, behing ſie von außen mit ſchmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn ſie hohl waren, im Inneren derſelben feinen Sand möglichſt gleichförmig, und ſtrich ſie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen in dieſelben Querſchnitte fallen, ſondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine ſolche Röhre um ihre Axe drehte, und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten unterſuchte, überzeugte er ſich, daß die Knoten beider Oberflächen in ſchraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, ſondern meiſtens aus zwei Stücken beſtehen, wovon das eine in einem

Querſchnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 156 zeigt dieſes für Eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende ſtreicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend; bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieſelbe Weiſe gewunden. Die Gebrüder Weber (Wellenlehre S. 555 und Schweig. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, ſehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch ſo, daß ſich jede derſelben nur auf den halben Umfang eines Querſchnittes erſtreckte; für die andere Hälfte fiel ſie in einen anderen Querſchnitt. Von der ſpiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenſchwingungen der Cylinder fand Savart ſelbſt noch an ſchmalen, langen, ſchwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand beſtreuten Glasſtreifen zum Schwingen; ſo ordnet ſich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens ſenkrechte Linien. Merkt man ſich dieſe Stellen, kehrt dann den Streifen um, und verſetzt ihn aufs Neue in Längenſchwingungen; ſo ſammelt ſich der Sand nicht mehr an den den vorigen gegenüber liegenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1$\frac{1}{2}$ L. dick iſt, ſo liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entſtandenen gegenüber. An der ſchmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar ſchief, als wollten ſie die den beiden entgegenſetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An (1—2 Zoll) breiten Streifen erſcheinen ſelbſt die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen, wie Fig. 157 zeigt.

352. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten ſind Stäbe noch einer dritten fähig, der drehenden. Man erregt ſie am leichteſten an cylindriſchen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubſtock einſpannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen ſtreicht. Durch Berühren an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in ſchwingende Theile bewirken. — Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elaſtiſcher Stäbe ſtehen mit einander in einer ſolchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungsanzahl bei einer dieſer Schwingungsarten auf die bei den anderen ſchließen kann.

353. Die hier dargeſtellten Geſetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die gekrümmten, nur mit dem Unterſchiede, daß die Schwingungsknoten, zwiſchen welche die Biegung fällt, durch das Biegen einander näher gerückt und ſo die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und ſie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein gabelförmiger Stab, wie unſere Stimmgabeln, gibt den tiefſten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am andern ſchlägt, oder mit einem Bogen ſtreicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 158, und einen noch höheren, wenn er mit vier ſchwingt, wie aus Fig. 159 zu erſehen iſt. Ein ringförmiger Körper theilt ſich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengeſetzten Richtungen ſchwingen. Berührt man ihn an den Grenzen ſolcher Theile, und ſtreicht ihn an einer Stelle, die zwiſchen zwei ſolchen

Grenzen liegt; ſo bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entſprechen und deſto höher ſind, in je mehr ſolche Theile ſich der Ring getheilt hat.

354. Faſt bei allen dieſen Schwingungen betrachtet man elaſtiſche Stäbe bloß als Linien, und ſieht dabei gleichſam nur auf die Bewegung der in ihrer Längenaxe liegenden Theile. Bei langen und dünnen Stäben kann dieſes auch ohne merklichen Fehler geſchehen; bei ſolchen hingegen, wo die Breite und Dicke ſo groß iſt, daß ſie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die vorhergehenden Geſetze merklich modificirt. Dieſes kann man vorzüglich aus der ungleichen Schallverbreitung (333) rings um einen ſolchen Stab abnehmen. Aus W. Weber's ſchönen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand (Schweigg. J. 48. 423) geht hervor, daß ein prismatiſcher, ziemlich dicker Stab, bei ſeinen Querſchwingungen zwei Wellen in der ihn umgebenden Luft erregt, nämlich eine an der Vorder-, die andere an der Hinterfläche. Dieſe zwei Wellen haben entgegengeſetzte Eigenſchaften, und die eine entſteht etwas früher als die andere. Es ſcheint, als gäbe es in jedem Querſchnitte eines ſolchen Stabes ähnliche Schwingungen, wie in einem Ringe, der mit mehreren Schwingungsknoten ſchwingt. Nach Poiſſon's Analyſe erfolgt während einer Längenſchwingung eines Stabes eine auf ſeine Axe ſenkrechte (normale) Schwingung, die mit jener iſochron iſt, und dort die größte Ausbeugung verurſacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten iſt und umgekehrt.

355. Wenn elaſtiſche Platten an einer oder an mehreren Stellen feſt gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal geſtrichen werden, ſo bilden die Knotenlinien, die durch aufgeſtreuten Sand ſichtbar gemacht werden, gewiſſe Figuren, welche man Klangfiguren oder insbeſondere nach ihrem Entdecker, Chladni'ſche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten ſchließen kann. Um dieſe Figuren rein hervorzubringen, bedient man ſich am beſten Scheiben von grünem, dünnen Fenſterglaſe, denen der ſcharfe Rand benommen worden iſt; matt geſchliffene Glastafeln gewähren den Vortheil, daß man die Klangfiguren mit einem fein geſpitzten Bleiſtift nachzeichnen kann; es laſſen ſich aber auch Metallplatten und ſelbſt Holzſcheiben dazu brauchen. Man reicht meiſtens aus, wenn die Platten einen Durchmeſſer von 3—6 Zoll haben, nur für verwickeltere Figuren braucht man größere, am beſten metallene Tafeln. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entſtehungsortes der Wellen, durch die Länge der entſtandenen Wellen und durch die Geſtalt der Platte beſtimmt, wie man leicht einſieht, wenn man bedenkt, daß ſie aus dem regelmäßigen Zuſammentreffen der directen und reflectirten Wellen entſtehen. Daher geben Platten von verſchiedener Geſtalt auch verſchiedene Klangfiguren, daher laſſen ſich auch in derſelben Platte verſchiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen ſtärker oder ſchwächer, ſchneller oder langſamer ſtreicht, und dadurch gleichſam die Länge einer Welle beſtimmt,

endlich die Lage des Punktes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man ſtreicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 160—167 ſtellen ſolche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entſtehen, wenn man ſie in a hält und in b ſtreicht. Man kann die an einer Platte von beſtimmter Geſtalt hervorbringbaren Klangfiguren, ähnlich denen an transverſal ſchwingenden Stäben nach Maßgabe der Anzahl und Lage gewiſſer Punkte, wo Knoten hinfallen, in mehrere Claſſen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle bloß aus Durchmeſſern beſtehenden Figuren eine eigene Claſſe, die aus concentriſchen Kreiſen ohne Durchmeſſer beſtehenden eine andere, die aus Kreiſen und Durchmeſſern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigſtens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

356. Die einfachſte Figur iſt immer von dem tiefſten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zuſammengeſetzter eine Klangfigur wird, deſto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 160 entſteht, den tiefſten Ton; ein höherer begleitet die Fig. 161, und ein noch höherer die Fig. 162. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche, jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verſchiedener Höhe; und in derſelben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Aenderung der Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringſten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Figur 163 alſogleich in 164 über, wenn man die feſt gehaltene Stelle a nur wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert.

357. Die Knotenlinien ſind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 160—163, bald gekrümmt, wie in Fig. 164, und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn ſie aber nicht in ſich zurückkehren, ſo erſtrecken ſie ſich immer bis an die Ränder der Scheibe und hören nie in derſelben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen iſt immer ein aliquoter Theil der Dimenſion der Platte, welche auf ihnen ſenkrecht ſteht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß ſie ausſehen, als wären ſie aus einfachen zuſammengeſetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entſteht die Fig. 168, die man in einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man 4 kleine Tafeln, an denen die Figur 160 hervorgebracht wurde, ſo zuſammenſetzt, wie die ſtark ausgezogenen Linien zeigen.

358. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, ſind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt ſich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen ſchwingen. Daher hört man bei einer Glocke außer dem eigenthümlichen, tiefſten Tone mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieſer Nebentöne

für ſich entlocken, wenn man ſie an einem oder an zwei Punkten, wohin eine Knotenlinie fällt, ſanft hält, und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmeſſers ſtreicht. Iſt ſie dabei mit Waſſer gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; ſo werden die Knotenlinien durch das Kräuſeln des Waſſers oder durch die Anhäufung des Sandes ſichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich ſichtbar machen, und ſich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwiſchen zwei Knotenlinien der anderen falle.

359. An Platten von beſonders ſymmetriſchem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien, der Größe der ſchwingenden Theile und der Tonhöhe unbeſchadet, ihren Ort ändern. Man kann eine ſolche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raſchen Bogenſtrich in Schwingungen verſetzt, den Bogen ſchnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt ꝛc. und ſo mehrmal hinter einander verfährt. Je ſchneller man ſtreicht und den Bogen wieder zurückzieht, deſto ſchneller rücken die Knotenlinien fort. Wiederholt man dasſelbe Verfahren, ſobald dieſe Linie in Ruhe gekommen iſt; ſo kann man ſie neuerdings zum Weiterrücken bringen, und ſie in einem ganzen Kreiſe herumführen. Erfolgen die Schwingungen langſam, ſo kann man dieſes Weiterſchreiten durch feinen Sand ſichtbar machen, bei ſchnellen Schwingungen hingegen ſieht man es nur, wenn man Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, und das Bild der Sonne beim Schwingen derſelben betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erſcheint dieſes oval, beim Schwingen aber (falls eine ſternförmige Klangfigur entſteht) ſternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, ſo nimmt auch dieſer Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitſch. 4. 109.)

360. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper ſind nicht bloß wegen ihrer acuſtiſchen Beziehung intereſſant, ſondern auch darum, weil ſie uns ein ſehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elaſticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verſchiedenen Richtungen parallelepipediſche Stäbe von gleichen Dimenſionen, und verſetzt ſie auf einerlei Weiſe in Schwingungen; ſo kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elaſticität ſchließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisſcheiben und verſetzt ſie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien beſtehende Klangfigur entſteht; ſo müſſen dieſe Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elaſtiſch iſt. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, ſo beſitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elaſticität, aber man wird die Stellen der kleinſten und größten Elaſticität und das Geſetz ihrer Anordnung leicht ausfindig machen können. Durch dieſes Mittel erkannte Savart, daß Holz, kryſtalliſirte Körper, von denen er beſonders Doppelſpath und Bergkryſtall näher un-

terſucht hat, nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität beſitzen.

Eine Scheibe, die ſenkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen verſehenen, cylindriſchen Holzſtammes geſchnitten iſt, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Faſern des Holzes) eine andere Elaſticität, als in einer darauf ſenkrechten Ebene, und ſelbſt in dieſer Ebene kann die Elaſticität nach verſchiedenen Richtungen verſchieden ſeyn. Savart fand ſie mittelſt Stäben aus einem Buchenſtamme in einer auf die Faſern ſenkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf ſenkrechten = 2.25, in der Richtung der Faſern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen, gleichförmig dicken Metallſcheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einſchnitte, und ſchwächt dadurch nach der Richtung derſelben ihre Elaſticität; ſo kann eine aus zwei auf einander ſenkrechten Durchmeſſern beſtehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, ſondern es iſt immer eine Knotenlinie mit den Einſchnitten parallel, eine andere darauf ſenkrecht, und will man mit Gewalt dieſe Knotenlinie an einer anderen Stelle erzwingen, ſo gehen die Durchmeſſer in hyperboliſche Curven über. Demnach zeigen dieſe Durchmeſſer an ungleichförmig elaſtiſchen Platten immer die Stellen an, wo die Elaſticität am größten oder am kleinſten iſt. Eine Holzſcheibe ſenkrecht auf die Faſern geſchnitten, hat meiſtens an jeder Stelle eine Klangfigur mit diametraler Knotenlinie, iſt alſo rings um das Centrum der Jahrringe gleich elaſtiſch, eine ſchief gegen die Faſern oder mit ihnen parallel geſchnittene thut dieſes nicht, iſt alſo auch nicht gleichförmig elaſtiſch. Platten aus Bergkryſtall, ſenkrecht auf die Hauptaxe des Kryſtalls geſchnitten, erſcheinen rings um die Axe gleich elaſtiſch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elaſticitäten, noch mehr eine ſchief gegen die Axe geſchnittene. Doppelſpath ſtimmt faſt ganz mit dem Bergkryſtall überein, und nur darin beſteht zwiſchen beiden ein weſentlicher Unterſchied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkryſtalle die Axe der größeren, beim Kalkſpath aber die der kleineren Elaſticität iſt. (Savart in Pogg. Ann. 16. 206.)

361. Ein elaſtiſcher Körper kann nicht bloß in der atm. Luft, ſondern auch in jedem anderen Gaſe, ja ſogar in tropfbaren Flüſſigkeiten, wie z. B. in Weingeiſt, in Oehl, in Queckſilber ꝛc. oscilliren. Man erregt in letzteren Schwingungen mittelſt eines Glasſtabes, welchen man an den in Oscillationen zu verſetzenden Körper ſo ankittet, daß ein Theil davon aus der Flüſſigkeit herausragt, in die man jenen Körper getaucht hat, und dieſen Stab ſtreicht. Bei Verſuchen dieſer Art hat man erfahren, daß das Mittel durch ſeine Trägheit und ſeinen Widerſtand auf die Schnelligkeit der Schwingungen, mithin auch auf die Tonhöhe Einfluß hat, welcher um ſo größer ausfällt, je größer die in Bewegung geſetzte Maſſe des Mittels iſt. Daher erfolgen longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anſpruch nehmen, faſt in allen Flüſſigkeiten auf gleiche Weiſe, und die Tonhöhe erleidet in denſelben keine merkliche Veränderung, während transverſale Schwingungen von dem Mittel, worin ſie Statt finden, in hohem Grade abhängen, und bei übrigens gleichen Umſtänden von deſto tieferen Tönen begleitet ſind, je dichter das Mittel iſt. Uebri-

gens bilden ſich in jedem Mittel, ſelbſt wenn es tropfbar flüſſig iſt, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann ſie eben ſo wie bei Schwingungen, die in der Luft vor ſich gehen, durch Sand, den man durch die Flüſſigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, ſichtbar machen. Doch ſind nicht alle Figuren, die ſich auf ſolche Weiſe zeigen, wahre Klangfiguren, d. h. ſolche, die aus Linien beſtehen, welche Knotenlinen bezeichnen, ſondern manche derſelben werden durch die Bewegung des Mittels bedingt, worin die Bewegung erfolgt.

Das Mittel wird nämlich, beſonders durch transverſale Schwingungen der Platte, auch in eine vibrirende Bewegung verſetzt. Denn ſo wie ein Theil der vibrirenden Fläche aufſteigt, theilt er dem Mittel eine gewiſſe nach aufwärts gekehrte Geſchwindigkeit mit, weicht aber beim Zurückkehren von dem Mittel zurück, und macht, daß es in das ſo entſtehende Vacuum einzudringen ſuchen muß. Aber nicht an allen Stellen einer vibrirenden Partie kann das Mittel gleich ſchnell zurückkehren, ſondern es wird dieſes auf der Stelle der größten Vibration (am Vibrationscentrum) langſamer geſchehen als an anderen Stellen, weil daſelbſt die vibrirende Fläche die größte Geſchwindigkeit und die größte Excurſion hat. Das Mittel ſtrömt daher von allen Seiten dieſem Centrum zu, und kann ſehr feine Pulver, z. B. Hexenmehl, bis zu jenem Centrum mit ſich fort führen. Daher kommt es auch, daß ſich bei der Anwendung eines aus feinen und gröberen Theilen gemengten Sandes die gröberen an den gewöhnlichen Knotenlinien, die feineren aber zwiſchen dieſen anhäufen und eine Figur geben, welche S a v a r t irrig einer weiteren Abtheilung der ſchwingenden Partien zuſchreibt. Daß dieſe ſecundäre Figur von der Bewegung des Mittels herrühre, lehrt der Umſtand, daß ſie ſich im leeren Raume oder in ſehr verdünnter Luft nicht bildet, ſondern daß aller Sand an der eigentlichen Knotenlinie abgeſetzt wird. Man kann die Schwingungen, in welche das Mittel durch die Platte verſetzt wird, leicht ſichtbar machen, wenn man als ſolches eine Schichte einer tropfbaren Flüſſigkeit, z. B. Wein, oder noch beſſer Milch braucht.

F. Schwingungen mittönender Körper.

362. Die ſchwingende Bewegung ſchallender Körper kann ſich denen, mit welchen ſie in Berührung ſtehen, nicht bloß ſo mittheilen, daß hierdurch der Schall fortgepflanzt wird, ſondern auch ſo, daß ſie ſelbſt mitklingen und den Schall verſtärken. Die Geſetze dieſer Mittheilung ſind äußerſt wichtig; denn ſie ſpielen bei unſeren Saiteninſtrumenten und überhaupt in allen jenen Fällen, wo es uns um Verſtärkung des urſprünglichen Schalles zu thun iſt, eine große Rolle, und nur durch ihre Kenntniß kann man zu einem ganz ſicheren Verfahren geleitet werden, um ſolche Inſtrumente in möglichſter Güte zu verfertigen, und dabei weniger vom Zufalle abzuhängen, als es bis jetzt leider noch der Fall iſt.

363. Von der Wirklichkeit der Mittheilung hörbarer Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigſten materiellen Beſchaffenheit und von verſchiedenem Aggregationszuſtande überzeugt man ſich durch mehrere Erfahrungen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen

Schlag in Bewegung und hält ſie dann frei in der Hand, ſo hört man nur einen äußerſt ſchwachen Ton; ſetzt man ſie aber auf einen Kaſten von dünnem, elaſtiſchen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, ſo erſcheint dieſer Ton viel ſtärker und anhaltender. Es müſſen alſo die Holzfaſern des Kaſtens in Bewegung geſetzt worden ſeyn. Der Ton der ſogenannten Mundharmonica (Maultrommel) iſt außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erſcheint er hinreichend ſtark und hörbar. Selbſt eine Stimmgabel tönt viel ſtärker, wenn man ſie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt ſich einer geſpannten Membrane durch die Luft mit, und ſetzt darauf geſtreuten Sand in Bewegung. Dieſe Mittheilung findet auch unter einem ganzen Syſteme von Körpern Statt, und es kann auch ein Mittönender einen anderen mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in deſſen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, ſo vernimmt man deutlich, daß die Violinie mitklingt, und daß ſich ihre Saiten, wenn ſie nicht in ihrer ganzen Länge dieſen Ton geben können, in ſolche Theile abtheilen, die dazu geſchickt ſind. Man kitte auf eine kurze Glasſtange zwei kreisförmige Scheiben, ſo daß ihre Flächen auf der Axe der Stange ſenkrecht ſtehen, halte den Stab vertical, und beſtreue beide Scheiben mit feinem trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieſer Scheiben einen Ton, ſo ordnet ſich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht bloß auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, ſondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entſteht dieſelbe Klangfigur. In allen Inſtrumenten, welche Reſonanzböden haben, wird die Luft unter dem Reſonanzboden durch den ſchallenden Körper mittelſt des Bodens in Bewegung geſetzt; beſonders wenn die Saiten in einer gegen den Reſonanzboden ſenkrechten Ebene ſchwingen, wie beim Fortepiano, und man kann die mittgetheilten Schwingungen des Reſonanzbodens mittelſt metallener, gläſerner oder hölzerner Stäbe, die ihn berühren, weit fort leiten, und ſo die Töne der Saiten in Oertern hörbar machen, wohin ſie durch die Luft oder durch Mauern nicht dringen können. Dieſem Mittönen der Körper iſt es zuzuſchreiben, daß die Stimme eines Menſchen in einem Zimmer ausgiebiger iſt, als im Freien, daß eine Muſik ſich in einem Orte beſſer ausnimmt als in einem anderen. Daß an manchem Platze einige Töne mehr verſtärkt werden als andere, und daß ſelbſt an neuen muſikaliſchen Inſtrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder ſelbſt zu geben im Stande iſt, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen ſind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327. Wheatſtone in Pogg. Ann. 26. 251.)

364. Um den inneren Verlauf der Sache beim Entſtehen mittönender Bewegungen einzuſehen, denke man ſich einen begrenzten Kör-

per, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieſer Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demſelben eine fortſchreitende Welle. Dieſe erweitert ſich bis zum Ende des Bretes, wird daſelbſt in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzet; der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des ſchallenden Körpers erregten Wellen begegnet und ſie durchkreuzt, jene einer ſtehenden gewiſſer Maßen analoge Schwingung, in welcher das Mittönen beſteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieſes Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weiſe zu ſchwingen, die ihm im freien Zuſtande ganz fremd iſt. Daher entſtehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber dieſe Figuren ſind oft von den an ſelbſttönenden Körpern vorhandenen weſentlich verſchieden, und werden Reſonanzfiguren genannt. Dieſe Unterſchiede beſtehen darin, daß die Knotenlinien der Reſonanzfiguren nicht ſo regelmäßig ſind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwiſchenräume nicht immer aliquote Theile der Größe der ſchwingenden Fläche ſind, daß eine Knotenlinie auch mitten im ſchwingenden Theile enden kann, und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen ſchwingender Theile ſind, ſondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisſcheiben von einerlei Materie, geben die Klangfigur 169, die man auch in jeder Scheibe für ſich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entſteht aber die Fig. 170, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem anderen deſto mehr modificirt, je größer die angehängte Maſſe iſt. Dieſes zeigt beſonders folgender Verſuch: Verbindet man zwei Kreisſchreiben von ſehr verſchiedener Größe mit einander ſo, daß beide in derſelben Ebene liegen, und ſtreicht dann die größere mit einem Bogen, ſo entſteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für ſich ſelbſt zukommt; ſtreicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, ſo erhält man eine Figur wie 171, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für ſich erzeugt werden kann.

365. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen ſich alle Theile nach Richtungen, die unter ſich und auch mit jenen parallel ſind, welche den urſprünglich ſchwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen feſten Wirbel, mit dem anderen an eine gläſerne oder metallene, längliche Platte befeſtigt, die ſelbſt am anderen Ende eingeklemmt iſt, wie Fig. 172 zeigt, und hierauf mittelſt eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte ſenkrechten Richtung in Querſchwingungen verſetzt; ſo ſchwingt auch die Platte nach derſelben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgeſtreuter Sand ſichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man ſolche Schwingungen an einer vertical geſpannten Saite hervor, und hält eine horizontale Glasplatte daran, ſo ſieht man auf dieſer den aufgeſtreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, ſondern nur horizontal fortgleiten, um ſich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenſtriches ſenkrecht ſtehen. Recht

auffallend zeigt ſich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Verſuch, den Savart zuerſt anſtellte. Man befeſtige in der Mitte eines, mit einer geſpannten Saite in Verbindung ſtehenden Glasſtreifens A (Fig. 173) ſenkrecht darauf einen Streifen, an dieſen wieder einen mit dem erſten parallelen u. ſ. w. Wird nun A mittelſt der Saite in transverſale Schwingung verſetzt, ſo ſchwingen auch alle damit parallelen Stücke transverſal, alle darauf ſenkrechten aber longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn A longitudinal ſchwingt.

Die bisher beſprochene Mittheilung der Bewegung geſchieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen b, b'' von gleicher Natur und von gleichen Dimenſionen, eben ſo auch b und b''' unter einander, aber von erſteren verſchieden; ſo geben b und b'' dieſelben Klangfiguren und eben ſo auch b' und b''', aber die von b und b' ſtimmen nicht mit einander überein, wiewohl ſie von derſelben Quelle, nämlich von A ausgegangen ſind; ja ſelbſt das Geſetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenſchwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueſte beobachtet; denn wenn alle Streifen b, b', b'', b''' einander gleich ſind und longitudinal ſchwingen, ſo ſieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieſelbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinſehen, eine verſchiedene Anordnung derſelben zeigen.

366. Wheatſtone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz paſſend, Polariſation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Reſonanzboden ſteht; ſo theilt ſich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinkelig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, ſo werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken ſenkrecht ſteht. Dreht man die Stimmgabel ſucceſſiv aus einer Lage in die andere, ſo nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zweimal ab und eben ſo oft zu. Biegt man den Draht, während die darauf ſtehende Gabel den ſtärkſten Ton gibt, ſo nimmt die Tonſtärke ab, iſt am ſchwächſten, wenn der Stab unter 90° gebogen iſt, wächſt wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel ſind. (*Ann. de Ch.* 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptſächlich die Verſtärkung des Schalles, welche man Reſonanz zu nennen pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unſer Gehör mit den directen zuſammenfallenden Wellen daran nicht ſelten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beſchaffen ſeyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichſt ſtarke, dauernde Reſonanz habe, daß zur Erreichung dieſes Zweckes die Wände möglichſt glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl ſeyn ſollen, und daß man das Volum des Raumes wohl zu berückſichtigen habe. Bei muſikaliſchen Inſtrumenten mit einem Reſonanzboden kommt

es auf die Geſtalt und Größe des eingeſchloſſenen Luftraumes und auf die Lage ſeiner Oeffnungen vorzüglich an.

G. Empfindung des Schalles.

367. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke beſtimmt iſt, iſt das Ohr. Man theilt es in das äußere und das innere Ohr. Das äußere beſteht aus der Ohrmuſchel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfell, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerve. Die Ohrmuſchel iſt ein knorpeliger muſchelförmiger Anſatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieſer iſt ein anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Canal, der durch das Trommelfell geſchloſſen iſt. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher ſich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt ſich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachſen, der andere aber in den Ambos eingelenkt iſt. Der Ambos iſt mit ſeiner Spitze durch das Sylviſche Bein (einem linſenförmigen Knöchelchen) mit dem Steigbügel verbunden. Alle dieſe Knöchelchen bilden gleichſam ein Hebelſyſtem, und ſind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung verſehen, wovon drei (der Spanner, der große und der kleine Erſchlaffer) zum Hammer gehören, und einer zum Steigbügel. Die Trommelhöhle ſteht durch das ſogenannte ovale und runde Fenſter mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenſter iſt durch die Fußplatte des Steigbügels geſchloſſen, das runde Fenſter aber mit einem Häutchen überſpannt, welches auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Euſtachiſche Ohrtrompete; ſie iſt darum ſtets mit Luft von gleicher Spannung mit der atmoſphäriſchen und von beſtändiger Temperatur verſehen. Das Labyrinth beſteht aus dem mit dem ovalen Fenſter verſehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entſtehenden und wieder dahin zurückkehrenden Canälen und aus der Schnecke. Dieſe hat 2½ Windungen und iſt der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derſelben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenſter an. Beide ſind mit Nervenſubſtanz verſehen; übrigens iſt das ganze Labyrinth mit einer wäſſerigen Flüſſigkeit erfüllt. — Außer dem Menſchen haben nur noch mehrere vierfüßige Säugethiere wahre äußere Ohren, bei den im Waſſer lebenden oder jenen, die darin leben können, iſt der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verſchloſſen, bei den Vögeln erſetzt die äußerſt regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang das äußere Ohr. Die vollkommeneren Thiere wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien haben ein Trommelfell, die Euſtachiſche Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fiſche beſteht bloß aus drei ſehr anſehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmaſſe haben wahrſcheinlich kein Gehörorgan.

368. Ueber die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes iſt man keineswegs ſo in Kenntniß, wie es zu wünſchen wäre. Am wahrſcheinlichſten iſt Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuſchel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muſchel ſelbſt in Schwingungen verſetzt, und hat die Beſtimmung, den ankommenden Schallwellen ſtets dieſelbe Fläche darzubieten, und ſo die Intenſität des Schalles von der Neigung der Schallſtrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfell, das dadurch in Bewegung geſetzt wird und den Schall wahrnehmbar macht, gleich wie ein Blatt feines Papier, das man in der Hand hält, durch ſein fühlbares Zittern die Einwirkung eines Schalles verräth, der ſich unmittelbar dem Taſtſinn nicht verrathen hätte. Die Bewegung des Trommelfells theilt ſich den kleinen Knöchelchen mit. Um einen leiſern Schall wahrzunehmen, zieht der Spanner das Trommelfell einwärts und die Steigbügelmuskel den Steigbügel gegen das ovale Fenſter; die Schallwelle trifft dann nicht bloß das mehr elaſtiſche Trommelfell, ſondern ſie gelangt auch durch lauter feſte Körper, gleichſam durch Ein Mittel, bis zum Labyrinth, und erleidet daher jene Schwächung nicht, die ſtets eintritt, wenn der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen muß. Um einen ſtarken Schall ohne Nachtheil zu empfinden, ziehen die Erſchlaffer das Trommelfell auswärts und dadurch den Steigbügel vom ovalen Fenſter zurück, ſo daß nun die Schallwelle nicht bloß ein ſchlaffes Häutchen trifft, ſondern auch noch von den Knöchelchen in die Luft und von dieſer wieder in einen feſten Körper übergehen muß, um ins Labyrinth zu gelangen. Daher kann ein ſolcher Schall dem Gehörorgane durch ſeine zu große Intenſität nicht gefährlich werden, wenn er daſſelbe nicht etwa unvorbereitet überraſcht. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieſelbe Elaſticität behalten und das Ohr die ſchon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es ſcheint auch, als diene ſie zum Mittönen, wie die in einem Reſonanzkaſten eingeſchloſſene Luft. Im Labyrinthe befindet ſich die Schallwelle in einer tropfbaren Flüſſigkeit, die den neueſten Erfahrungen gemäß (345 Anm.) ſelbſt zu tönen vermag, und erfährt beim Fortgang durch die Bogengänge, welche eine heberförmige coniſche Röhre formiren, deren Scheitel nach einwärts gekehrt iſt, eine Verſtärkung, geht aber von dieſer Flüſſigkeit unmittelbar in den Nerv über, welcher in derſelben ſchwimmt, ſich unmittelbar an ſie anſchließt, und daher jene Continuität des Fortpflanzungsmittels bewirkt, die zur Erhaltung einer gewiſſen Schallſtärke unerläßlich iſt.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die ſchwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerv, allein ſie kann auch durch die feſten Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne angeſetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Claviers wahrnehmen, wenn ſie einen Stab an daſſelbe und zugleich an den Kopf halten.

369. Durch das Ohr vernimmt man eigentlich nur die Richtung und Stärke einer Reihe von Stößen, und die Geſchwindigkeit, mit der ſie auf einander folgen. Von der Richtung dieſer Stöße hängt unſer Urtheil über die Lage des ſchallenden Körpers ab, welches daher, wenn nicht andere Punkte darauf Einfluß nehmen, ſtets unrichtig ausfallen muß, ſo oft ein Schallſtrahl auf ſeinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird; daher es ſchwer iſt, in einem Walde die Quelle eines beſtimmten Schalles zu finden, und hierüber ſo leicht Irrungen Statt finden können. Die Stärke der Stöße beſtimmt bei gleicher Empfänglichkeit des Organs die Intenſität des Schalles, und alles, was jene Stärke modificirt, bringt auch eine Aenderung in dieſer hervor. Die Zeit, in welcher dieſelben Stöße periodiſch wiederkehren, beſtimmt die Tonhöhe. Doch würden ſelbſt die ſchnellſten Schwingungen keinen anhaltenden Ton erzeugen können, wenn die Empfindung nicht die Stöße überdauerte und ſo gleichſam einen Stoß mit dem andern verbände. Es iſt überhaupt zur Entſtehung eines vollen anhaltenden Tones unerläßlich, daß die auf das Gehörorgan geſchehenden Eindrücke bis auf eine beſtimmte Grenze in einander fließen. Erfolgen mehrere Syſteme von Stößen zugleich, ſo bringen ſie eine deſto willkommenere Empfindung hervor, in je einfacheren Zeitverhältniſſen ſie wiederkehren, etwa ſo, wie die von zwei verſchiedenen Individuen zugleich verübten Hammerſchläge ſich beſſer anhören laſſen, wenn die Intervalle, die jedes einzeln beobachtet, mit einander commenſurabel ſind, als wenn dieſes nicht der Fall iſt und nie zwei Schläge vollkommen zuſammentreffen. Ein einfaches Verhältniß dieſer Art wird als Conſonanz, ein complicirtes als Diſſonanz wahrgenommen. Daß aus dem gleichzeitigen periodiſchen Zuſammentreffen zweier Stöße ein dritter Ton hervorgehen kann, iſt ſchon geſagt worden. (Purkinje in Kaſt. Arch. 7. 39. Muncke ebendaſ. 7. 1. Home in Gilb. Ann. 44. Savart in *Ann. de Ch.* ꝛc. 25. 5. Sömmering's Abbildung des menſchlichen Hörorgans. Frankfurt, 1805.)

Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorgans deutliche Vorſtellungen zu verſchaffen, leiſten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaſchny verfertigten, die Naturgröße weit übertreffenden Gipspräparate vortreffliche Dienſte.

Ueber dieſes Kapitel iſt vorzüglich zu empfehlen und als Repertorium von Chladni's akuſtiſchen Entdeckungen anzuſehen: Chladni's Akuſtik. Leipzig, 1802. 4. Desſelben neue Beiträge zur Akuſtik. Leipzig, 1817. 4. Noch vortrefflicher iſt die von ihm ſelbſt veranſtaltete franzöſiſche Bearbeitung: *Traité d'Acoustique par E. F. Chladni. Paris*, 1809. Kurze Ueberſicht der Schall- und Klanglehre nebſt einem Anhange, die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältniſſe betreffend, von E. F. Chladni, Mainz, 1827. Viel Lehrreiches enthält Webers Wellenlehre, zweiter Haupttheil.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt.

Licht.

Erſtes Kapitel.

Das Licht überhaupt.

1. Wenn die Sonne unter dem Horizonte ſteht, Wolken die Geſtirne verbergen und auch kein künſtliches Licht vorhanden iſt; ſo ſind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung ſtehen, völlig abgeſchnitten. Das Licht iſt es alſo, durch welches wir Vorſtellungen von entfernten Gegenſtänden bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Es wäre die Wohlthat desſelben ſchon unermeßlich, wenn es auch nur dazu diente, Gegenſtände ſichtbar zu machen; aber es bringt noch viele andere Wirkungen hervor. Das herrliche Farbenſpiel der im tropiſchen Himmelsſtriche wachſenden Pflanzen, welches ſie dem intenſiveren Sonnenlichte verdanken müſſen, weil ſie es verlieren, wenn ihnen das Licht entzogen wird; der Verluſt der ſchönen grünen Farbe vieler Gewächſe, wenn man ſie mit undurchſichtigen Körpern bedeckt; der Umſtand, daß ſich die in Zimmern gezogenen Pflanzen ſtets nach der lichteren Seite wenden, ja ſogar Knie machen, um dem Lichte zu begegnen; daß Menſchen alle Lebensfülle und das Roth der Geſundheit einbüßen, wenn ſie in dunklen Oertern wohnen ꝛc., beweiſen ſattſam den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organiſchen Welt. Vorzüglich wichtig ſind die chemiſchen Veränderungen, welche das Licht, und zwar beſonders das intenſivſte unter allen, das Sonnenlicht, an verſchiedenen Körpern hervorbringt. Es verwandelt die Salpeterſäure in ſalpetrige Säure und färbt ſie daher roth oder gelb, ſcheidet Gold aus ſeinen Verbindungen theils in metalliſcher Geſtalt, theils als niederes Oxyd, ſtellt Silberchlorid entweder zu metalliſchem Silber her oder ſchwärzt es, es röthet den Phosphor, bewirkt an einem Gemiſche aus gleichen Theilen Waſſerſtoffgas und Chlorgas eine Verpuffung, bleicht endlich und zerſtört die meiſten Farben ꝛc. ꝛc. Im Allgemeinen werden oxydirte Körper durch das Licht wieder in ihren natürlichen Zuſtand zurückgeführt, wobei meiſtens der Sauerſtoff als Gas erſcheint. Viele Wirkungen des Sonnenlichtes kommen aber auf Rechnung ſeiner erwärmenden Kraft, und müſſen daher wohl von den anderen unterſchieden werden, bei denen das Licht als ſolches wirkſam iſt. (Suckow, über die chemiſchen Wirkungen des Lichtes. Darmſtadt, 1832. Landgrebe über die chem. und phyſiol. Wirk. d. Lichtes. Marburg 1834.)

2. Das Licht iſt durch keinen Sinn wahrnehmbar, es macht uns zwar andere Gegenſtände ſichtbar, kann aber ſelbſt nicht geſehen werden; wir kennen zwar ſeine Geſetze ziemlich genau, aber über ſeine Natur bedürfen wir noch mancher Aufſchlüſſe, und man muß ſich vor der Hand mit hypothetiſchen Vorausſetzungen darüber begnügen. Ihren wahren Werth vermag man aber erſt dann zu beurtheilen, wenn man mit den Geſetzen des Lichtes vertraut iſt und es verſucht, dieſelben daraus auf theoretiſchem Wege abzuleiten. Darum ſoll vorläufig nur von jenen Geſetzen die Rede ſeyn, jede weitere Discuſſion über die Natur des Lichtes aber verſchoben werden, und wenn der Abkürzung wegen vom Ausſtrömen des Lichtes, von Lichtſtärke ꝛc. die Rede iſt, ſo bezieht ſich dieſes nicht auf irgend eine Anſicht über das Weſen des Lichtes, ſondern es ſind dieſes nur bildliche Ausdrücke über die Verbindung der Körper mittelſt des Lichtes.

3. Die Quelle des Lichtes ſind die ſelbſtleuchtenden Körper. Dieſe ſind nämlich an ſich ſichtbar, und brauchen nicht, wie die dunklen, zu ihrer Sichtbarkeit die Gegenwart eines andern, der ihnen Licht zuſendet. Selbſtleuchtende Körper ſind: die Sonne, die Fixſterne, vielleicht auch die Cometen, ferner die brennenden und phosphorescirenden Körper. Es iſt bekannt, daß dunkle Körper ſelbſtleuchtend werden können, daß Holz und manche andere Pflanzenſtoffe erſt leuchten, wenn ſie faulen, eben ſo daß manche Körper durch Erwärmen, Stoßen, Reiben, Schlagen ꝛc. Licht geben, und daß einige (die ſogenannten Lichtſauger) erſt leuchten, wenn ſie einige Zeit lang dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren.

Faules Holz, todte Seefiſche, die Johanneswürmchen, die Johanneskäfer, der Surinamiſche Laternenträger ꝛc. phosphoresciren von ſelbſt; der Bologneſer Leuchtſtein (zerſtoßener und durch Tragant zu Paſten geformter, gebrannter Schwerſpath), verſchiedene Kalkſalze, beſonders Schwefelkalk, auch Schwefelſtrontian, Schwefelbaryt, Flußſpath, arſenſaures Kali mit ſalpeterſaurem Baryt geglüht, leuchten nach kurzer Beſtrahlung durch Sonnenlicht, beſonders wenn ſie erwärmt werden; Diamanten leuchten beim Reiben mit Wolle, zwei Kieſe geben beim Zuſammenſchlagen Funken und beim Reiben einen Lichtſchein ꝛc. (Heinrich über die Phosphorescenz. Nürnberg, 1811 — 1820; Schweigg. J. 14. 135; Kaſt. Arch. 5. 88. Zeitſch. 2. 80; Pogg. Ann. 33. 405; Gehlers n. Wörterb., Artikel: Licht.)

4. Einige Körper ſind vom Lichte durchdringlich, und ſolche hindern daher die Sichtbarkeit eines Gegenſtandes nicht, wenn ſie ſich zwiſchen demſelben und dem Auge befinden. Man nennt ſie durchſichtig, wie z. B. Luft, Glas, Waſſer. Andere laſſen das Licht nicht hindurch und halten daher das von einem Objecte zum Auge gehende auf; ſie werden undurchſichtig genannt. Kein Körper läßt alles auf ihn fallende Licht durch, und keiner iſt daher abſolut durchſichtig, und ſelbſt der durchſichtigſte wird in dicken Schichten undurchſichtig, gleichwie der undurchſichtigſte in dünnen Schichten wenigſtens durchſcheinend iſt.

5. Ein undurchſichtiger Körper hindert die Sichtbarkeit eines an-

deren nur dann, wenn er ſich in der geraden Linie befindet, welche vom Auge zum zu ſehenden Gegenſtande geht. Daher erfolgt die Wirkung des Lichtes in gerader Linie, und dieſe Linie heißt ein Lichtſtrahl. Ein leuchtender Punkt ſendet Licht nach allen Seiten aus, und ein dunkler, demſelben gegenüberſtehender Körper empfängt daher, wenn kein undurchſichtiger im Wege ſteht, eine Lichtpyramide, deren Spitze im leuchtenden Punkte liegt, und deren Seitenfläche jenen Körper ringsum berührt.

6. Römer entdeckte durch aſtronomiſche Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge, ſondern daß es in 1 Sec. ungefähr 42,000 Meilen zurücklege. Man weiß nämlich, daß der Planet Jupiter 4 kleine, unſerm Monde ähnliche Begleiter (Trabanten) habe, von denen der ihm nächſte in etwa 42 Stunden einen Umlauf macht, und jedesmal in den Schatten des Planeten tritt, mithin verfinſtert wird. Das Zeitintervall, welches vom Anfange einer ſolchen Verfinſterung bis zum Anfange der nächſten verfließt, und eben ſo jenes, welches die Enden zweier unmittelbar auf einander folgenden Verfinſterungen trennt, nimmt fortwährend ab, wenn ſich die Erde in ihrer jährlichen Bewegung dem Jupiter nähert, und wächſt hingegen, wenn ſich die Erde vom Jupiter entfernt. Dieſe Abweichung der Bewegung des Trabanten von der Regelmäßigkeit des Umlaufes um den Jupiter iſt nur ſcheinbar, und läßt ſich aus der Annahme vollkommen genügend erklären, daß das auf den Trabanten fallende Sonnenlicht in dem Verhältniſſe weniger oder mehr Zeit brauche, um von dieſem zur Erde zu gelangen, als die Erde ihm näher oder von ihm entfernter ſteht. Die Summe der Beſchleunigungen der Finſterniſſe während die Erde von dem größten Abſtande vom Jupiter bis zum kleinſten fortſchreitet, entſpricht einem Zeitintervall von mehr als 16 Minuten, d. h. um dieſen Zeitbetrag würde man die letzte Verfinſterung ſpäter wahrgenommen haben, wenn die Erde ſtets in der größten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre; dieſer Zeit bedarf alſo das Licht um den Durchmeſſer der Erdbahn zu durchlaufen, woraus die oben angegebene Geſchwindigkeit desſelben folgt. (*Roemeri Basis Astronomiae. Havniae* 1735. *p.* 121. Littrow's Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. S. 112.)

7. Sowohl die geradlinige Fortpflanzung als die Bewegung mit einerlei Geſchwindigkeit findet nur ſo lange Statt, als ſich das Licht in demſelben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, ſo erleidet es beim Uebergange eine Aenderung der Geſchwindigkeit, woraus meiſtens eine Aenderung der Richtung und der Intenſität hervorgeht. Es kehrt nämlich ein Theil eines Strahls an der Grenze zweier heterogenen Mittel in das alte zurück und wird reflectirt, der andere dringt ins neue Mittel ein. Geſchieht dieſes in ſchiefer Richtung gegen die Grenze der Mittel, ſo ändert letzterer ſeine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Das reflectirte Licht iſt es, durch welches dunkle Körper gleich den ſelbſtleuchtenden ſichtbar werden.

8. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strah-

len, die von einem leuchtenden Punkte herkommen, wieder völlig oder nahe in einem Punkte vereiniget werden, ſo daß ſie von dieſem wie von der Lichtquelle ſelbſt ausgehen. Dem Auge erſcheint daſelbſt das Bild des leuchtenden Punktes, weil es denſelben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen urſprünglich von dieſem Punkte aus. Auf gleiche Weiſe können Bilder von leuchtenden Gegenſtänden entſtehen, denn jedes ſolche iſt nur der Inbegriff der Bilder aller einzelnen Punkte. Dieſe Bilder haben deſto mehr Klarheit (Helligkeit), je mehrere Strahlen zur Entſtehung des Bildes jedes einzelnen Punktes beitragen und ins Auge gelangen, und deſto mehr Deutlichkeit, in einem je engeren Raume ſich die von einem Punkte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen ſie genau in einem Punkte zuſammen, ſo hat das Bild von dieſer Seite die größte Deutlichkeit.

Wie ſehr die Deutlichkeit der Bilder von der Größe des Raumes abhängt, innerhalb welchem ſich die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen vereinigen, zeigt vorzüglich die ſogenannte optiſche Kammer, d. i. ein verfinſtertes Gemach, in welches die von gegenüberſtehenden, beleuchteten Gegenſtänden ausfahrenden Strahlen nur durch eine kleine, runde Oeffnung eindringen können. Jeder Punkt dieſer Gegenſtände ſendet einen Strahlenkegel durch die Oeffnung, und die Baſis dieſes Kegels ſtellt auf einer der Oeffnung gegenüberſtehenden Wand ſein Bild vor. Dieſes iſt offenbar bei einerlei Entfernung der Wand von der Oeffnung deſto kleiner, je kleiner die Oeffnung iſt, und in dem Verhältniſſe, in welchem man die Oeffnung verkleinert, wächſt die Deutlichkeit der Bilder. Wenn die Oeffnung ſehr klein und ihr die Wand ſehr nahe iſt, hat die Deutlichkeit der Bilder ſchon einen bedeutenden Grad erreicht; ein Beweis, daß es für unſer Auge ſchon hinreichend ſey, wenn die Strahlen, welche ein Punkt liefert, in einem kleinen Raume zuſammentreffen.

9. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchſichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abweſenheit des Lichtes nennt man Finſterniß, wiewohl man einen Raum oft ſchon für finſter hält, wenn es ihm an der zum klaren Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond ꝛc.; ſo gibt es hinter einem undurchſichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann, und den man Kernſchatten nennt, auch noch einen ſolchen, der nur von einigen Punkten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Dieſen nennt man Halbſchatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Punkte des Halbſchattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intenſität, und dieſes nimmt an jedem Querſchnitte des Halbſchattens gegen den Kernſchatten hin durch alle Zwiſchenſtufen ab. Beide Schatten gehen alſo ſtetig in einander über, ſo daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Iſt z. B. AB (Fig. 174) eine leuchtende, CD eine beleuchtete Linie, ſo iſt CED der Kernſchatten, ECx und EDy ſind Halbſchatten.

Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äuſserſten Rande des beleuchteten Körpers vorbeifahren; ſo muß ſeine Geſtalt, Lage und Größe von der Geſtalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenſeitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematiſch beſtimmt werden können. Man erſieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchteten Körpers, ja ſogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen, und daher den Schatten zur Beſtimmung der Dimenſionen oder Bewegung eines Gegenſtandes benützen könne. (Silhouettiren, chineſiſches Schattenſpiel. Beſtimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes ꝛc. mittelſt ſeiner Schattenlänge.) Der Schatten erſcheint durch Contraſt deſto dunkler, je ſtärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet iſt; daher verurſacht das ſtärkſte Licht den dunkelſten Schatten. Daß uns Nachts bei einem ſparſamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erſcheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal ſtärkere Sonnenlicht ſcheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage faſt kein Kernſchatten vorhanden iſt, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines anderen fällt.

Zweites Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

10. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichſam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, iſt entweder zerſtreutes oder regelmäßig reflectirtes Licht. Durch erſteres wird uns der Körper, an deſſen Grenze die Zerſtreuung erfolgt, ſelbſt ſichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere ſehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper ſendet. Eine Reflexion tritt jedesmal ein, wenn ein Lichtſtrahl an die Grenze zweier optiſch ungleichartigen Mittel gelangt; ob aber eine regelmäßige Reflexion oder eine Zerſtreuung des Lichtes Statt findet, das hängt bloß von der Rauheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieſes ſieht man daraus, daß jeder Körper, der im rauhen und unpolirten Zuſtande bloß ſelbſt ſichtbar iſt, alſogleich ſtatt ſeiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn ſeine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenſtände zeigen, von denen ſie beleuchtet werden, heißen Spiegel. Sie müſſen offenbar die auffallenden Strahlen in derſelben Ordnung reflectiren, in welcher ſie auffielen; denn ſonſt könnte keine Empfindung in unſerem Auge entſtehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenſtande her.

Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenſtände, aber nicht ſein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen ſolchen Spiegel. Schon die kleinſten Rauheiten der ſpiegelnden Fläche benehmen ihr einen Theil ihres Spiegelglanzes. Wird auf einen Metallſpiegel eine Figur gezeichnet, hierauf die Zeichnung weggeſchliffen und die Spiegelfläche wieder ſo weit hergeſtellt, daß man bei gewöhnlicher Beleuchtung keine Spur der Zeichnung bemerkt, ſo erſcheint dieſelbe doch auf einer Wand, wohin man ſtarkes, vom Spiegel reflectirtes Licht gelangen läßt. (Pogg. Ann. 27. 485.) Am be-

ſten ſpiegeln: Ruhig ſtehende Flüſſigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Miſchung von Kupfer, Silber und Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken hinreichend, wohl polirte, auf einer Seite geſchwärzte Glasplatten oder gar Platten aus ſchwarzem Glaſe, die nur auf einer Seite polirt ſind. Dieſen ſtehen unſere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen iſt, weit nach, weil ſie mehrere Bilder machen, die ſich zum Theil decken, meiſtens erkennt man deren zwei (am beſten an einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man vier bis fünf und mehr ſolche Bilder.

11. Die Zurückwerfung des Lichtes erfolgt nach beſtimmten Geſetzen, um die es ſich hier handelt. Iſt AB (Fig. 175) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartigen Mittel, C der Berührungspunkt, den der Strahl SC trifft, ferner CE ſenkrecht auf der Ebene AB, und CO die Richtung des reflectirten Strahls; ſo heißt C der Einfallspunkt, CE das Einfallsloth des Strahls SC, eine Ebene durch SC und CE die Einfallsebene, SCE der Einfallswinkel, OCE der Reflexionswinkel. Dieſem nach geſchieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Geſetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich iſt.

Von der Richtigkeit dieſer Geſetze überzeugt man ſich, wenn man einen Lichtſtrahl durch eine ſehr kleine Oeffnung in ein verfinſtertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt, und mittelſt eines genauen Inſtrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht. Wendet man dieſe Grundgeſetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verſchiedener Geſtalt an; ſo findet man immer die Richtung der Lichtſtrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo ſie herkommen oder herzukommen ſcheinen, daher auch die Lage des Bildes, das ſie erzeugen, und deſſen Beſchaffenheit. Mit den ſo gefundenen Reſultaten ſtimmt die Erfahrung auf das genaueſte überein, und liefert hierdurch einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der eben erwähnten Reflexionsgeſetze.

12. Es ſey AB (Fig. 175) ein ebener Spiegel, S ein Punkt, der die Lichtſtrahlen SA, SC, SD darauf ſendet, von denen SA auf AB ſenkrecht ſteht. Man findet die Richtung der reflectirten Strahlen CO und DO′, wenn man in den Einfallspunkten C und D die Einfallslothe CE und DF errichtet, und ECO = ECS, FDO′ = FDS macht. Der Strahl SA wird offenbar in ſeiner eigenen Richtung zurückgeworfen, er heißt der Hauptſtrahl, und wird in ſeiner Verlängerung AG von den verlängerten Strahlen OC und O′D geſchnitten. Dieſes mag von erſterem in s, von letzterem in s′ geſchehen. Da iſt nun wegen AC = AC, SAC = sAC und SCA = BCO = sCA das Dreieck ACS mit dem Dreieck ACs congruent, und deßhalb AS = As. Aus gleichen Gründen findet man AS = As′, woraus dann folgt: As = As′, d. h. alle reflectirten Strahlen ſcheinen von einem Punkte des Hauptſtrahles hinter dem Spiegel herzukommen, der eben ſo weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der leuchtende

Punkt ſich vor derſelben befindet. An dieſer Stelle erſcheint daher das Bild des leuchtenden Punktes. Steht vor einem Planſpiegel ein leuchtender Gegenſtand, ſo wird das Bild jedes einzelnen Punktes in der genannten Entfernung hinter dem Spiegel erſcheinen. Die Bilder aller dieſer Punkte zuſammen geben das des Gegenſtandes. Man ſieht wohl leicht ein, daß dieſes Bild in natürlicher Stellung und Größe erſcheinen, und daß es an allen Bewegungen des abgebildeten Gegenſtandes Theil nehmen muß. Macht eine gerade Linie am Gegenſtande mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, ſo macht dieſe mit der ihr entſprechenden Linie an dem Bilde einen rechten Winkel; ſteht aber ein Gegenſtand auf dem Spiegel ſenkrecht, ſo hat ſein Bild gerade die entgegengeſetzte Lage. Ein beſtimmter Punkt eines Gegenſtandes wird mittelſt eines ebenen Spiegels nur dann geſehen, wenn die vom Auge nach dem Bilde dieſes Punktes gezogene gerade Linie die ſpiegelnde Fläche durchſchneidet. Der Durchſchnittspunkt gibt die Stelle des Spiegels an, von welcher die von genanntem Punkte ausgehenden Strahlen in das Auge geſendet werden. Es läßt ſich leicht zeigen, daß ein verticaler Spiegel, in welchem ein aufrechtſtehender Menſch ſein Bild ganz überſehen ſoll, wenigſtens die Hälfte der Höhe und Breite des Körpers desſelben haben, und bei dem angegebenen Minimum der Dimenſionen ſich in einer beſtimmten Stellung befinden müſſe. Wird ein Spiegel bewegt, während der Gegenſtand in Ruhe bleibt, ſo beträgt die Bewegung des Bildes das Doppelte jener des Spiegels. Auf den Geſetzen der Lichtreflexion an Planſpiegeln beruhen mehrere wichtige phyſikaliſche Inſtrumente, wie z. B. der Helioſtat, der Heliotrop, die verſchiedenen Reflexionsgoniometer, der Spiegelſextant (Octant, Kreis) ꝛc.

Der Helioſtat iſt ein Planſpiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung ſetzen und dadurch ſo bewegen kann, daß die darauf fallenden Sonnenſtrahlen, ungeachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derſelben Richtung erflectirt werden (Pogg. Ann. 17. 71.); Gauß's Heliotrop beſteht aus zwei auf einander ſenkrechten, mit einem Fernrohre verbundenen Planſpiegeln, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem beſtimmten, weit entfernten Punkte hinzuwerfen, ſo daß man daſelbſt den Spiegel hell erleuchtet ſieht, der andere aber, um dem erſteren die zu ſeinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Es werden nämlich die Sonnenſtrahlen, welche auf dieſe Spiegel fallen, weil die Ebenen letzterer einen rechten Winkel bilden, nach parallelen und entgegeſetzten Richtungen reflectirt, ſo, daß wenn man das Bild der Sonne mittelſt des einen Spiegels an einem Orte ſieht, die von dem andern Spiegel reflectirten Sonnenſtrahlen nach dieſem Orte gehen. Die Reflexionsgoniometer ſind Inſtrumente, mittelſt welchen man die ebenen Winkel der Kryſtalle durch reflectirtes Licht mißt. Sie beruhen im Allgemeinen darauf, daß, wenn eine Kryſtallfläche Licht in beſtimmter Richtung reflectirt, das von einer anderen Fläche zurückgeworfene Licht nur dann genau dieſelbe Richtung haben wird, wenn dieſe Fläche genau in die Lage der erſteren gebracht worden iſt. Wird demnach die Richtung beobachtet, in welcher Licht von einer der zwei Kryſtallflächen, deren Neigung φ man wiſſen will, reflectirt wird, und dann der Kryſtall ſo weit um die betreffende Kante

gedreht, bis das von der zweiten Fläche zurückgeworfene Licht dieſelbe Richtung hat, ſo weiß man, daß dieſer Drehungswinkel $= 180^\circ - \varphi$ iſt, und hat man dieſen gemeſſen, ſo iſt auch φ gefunden. Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art hat Wollaſton angegeben. (Gilb. 37. 357; 49. 191.) Mohs hat es ſehr zweckmäßig abgeändert. Der Spiegelſextant dient zur Meſſung des Winkels, den die vom Auge nach zwei entfernten Punkten gehenden geraden Linien einſchließen. Er beſteht aus einem in Grade getheilten Bogen von 60°, auf deſſen Ebene ein fixer, nur zur Hälfte belegter Glasſpiegel A und in deſſen Mittelpunkt ein um denſelben beweglicher ganz belegter Spiegel B aufgeſtellt iſt. Die ſpiegelnde Fläche des erſteren iſt dem Auge zugekehrt, welches durch den unbelegten Theil desſelben nach entfernten Gegenſtänden ſehen kann; der zweite kehrt ſeine ſpiegelnde Fläche den Gegenſtänden zu, auf welche ſich die Winkelmeſſung bezieht, und ſendet nach Verſchiedenheit ſeiner Stellung die von denſelben ausgehenden Strahlen auf den Spiegel A, die dann von dieſem durch abermalige Reflexion ins Auge gelangen. Stellt man den beweglichen Spiegel B ſo, daß man einen entfernten Gegenſtand durch den unbelegten und im belegten Theile von A ſo ſieht, als wäre der ganze Spiegel A unbelegt (in welchem Falle die Ebenen von A und B einander parallel ſind), und wendet dann B dergeſtalt, daß das Bild eines zweiten Gegenſtandes mit dem durch den unbelegten Theil von A geſehenen erſten Gegenſtande coincidirt, ſo gibt das Doppelte des Winkels, um welchen B gedreht wurde, welchen man mittelſt eines mit B feſt verbundenen Lineals am Gradbogen ablieſt, den Winkel der nach beiden Gegenſtänden gezogenen Linien an. Mit einem Sextanten kann man unmittelbar nur Winkel meſſen, die 120° nicht überſchreiten; ein Spiegelkreis geſtattet auch die Meſſung größerer Winkel. Das Zauberperſpectiv, der Opern- und Wallgucker beruhen auch auf den Geſetzen der Reflexion des Lichtes, haben aber bis jetzt keine ernſte Anwendung gefunden.

13. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, ſo werden ſie natürlich ſo von ihm zurückgeworfen, als wenn ſie von einem Gegenſtande kämen, der ſich an der Stelle des Bildes im erſten Spiegel befindet; dasſelbe geſchieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn ſie auf einen dritten auffallen, und ſo fort. Steht daher ein Gegenſtand zwiſchen zwei parallelen Spiegeln, ſo entſteht von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die erſteren eine ſolche Lichtſtärke haben, daß ſie geſehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, ſo geben ſie von einem dazwiſchen ſtehenden Gegenſtande nur eine endliche Anzahl Bilder; denn damit die vom erſteren Spiegel reflectirten Strahlen im zweiten ein Bild geben, muß eine vom Bilde im erſten Spiegel gegen den zweiten gezogene gerade Linie die ſpiegelnde Fläche des letzteren treffen, eine Bedingung, welche nur $(n-1)$mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben ſolche Winkelſpiegel von einem Gegenſtande auch nur $(n-1)$ Bilder. Dieſe erſcheinen ſymmetriſch rings um die Axe der Spiegel und gewähren nicht ſelten einen ſehr überraſchenden Anblick, den man ſich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das ſogenannte Kaleidoſkop (Gilb. Ann. 59. 341.) verſchaffen kann.

14. Die *ſphäriſch gekrümmten* Spiegel ſind entweder Concav- oder Convexſpiegel, je nachdem die hohle oder die erhabene Seite ſpiegelt. Es ſey AB (Fig. 176) der Durchſchnitt eines ſphäriſchen *Hohlſpiegels*, mit einer durch den Mittelpunkt C ſeiner Krümmung gelegten Ebene. Iſt S ein leuchtender Punkt vor dem Spiegel in dieſer Ebene, ſo wird er einen Lichtkegel auf ihn ſenden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden ſollen, nämlich der durch den Mittelpunkt C gehende SCD, und ein anderer SE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmeſſer CD iſt, ſo muß SCD nach DCS zurückgeworfen werden; dieſen in ſich ſelbſt zurückkehrenden Strahl nennt man den *Hauptſtrahl* des Punktes S. Der andere Strahl SE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, bekommt durch Reflexion die Richtung EF, welche durch den Winkel $CEF = CES$ beſtimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptſtrahl SD findet man, in der Vorausſetzung, daß der Winkel DSE ſehr klein iſt, auf folgende Weiſe: Es ſey $CD = 2p$, $SD = a$, $FD = \alpha$. Da der Winkel SEF durch EC halbirt wird, ſo hat man im Dreiecke SEF

$$SE : FE = SC : CF.$$

Aber man kann, wegen der Kleinheit des Winkels DSE, ohne merklichen Fehler SE und SD ferner FE und FD als gleiche Linien behandeln, mithin auch $SE = a$ und $FE = \alpha$ ſetzen; dem gemäß gibt dieſe Proportion

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a(2p - \alpha) = \alpha(a - 2p), \text{ oder } ap + \alpha p = a\alpha,$$

woraus durch Diviſion mit $ap\alpha$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ folgt.}$$

Dieſer Gleichung gemäß iſt

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \text{ und } \alpha = \frac{ap}{a - p}.$$

Die ſo eben erhaltenen Reſultate gelten für alle Strahlen, welche mit dem Hauptſtrahle einen ſehr kleinen Winkel bilden, d. h. für einen Lichtkegel von unendlich kleiner Dicke, deſſen Axe der Hauptſtrahl iſt. Mehr divergirende Strahlen bekommen aber nach der Reflexion eine andere Lage gegen den Hauptſtrahl, nur diejenigen unter ihnen, welche gegen den Hauptſtrahl einerlei Neigung haben, treffen in dieſem zuſammen, denn die Lage des Punktes F, in welchem der Hauptſtrahl SD von einem reflectirten Strahle EF durchſchnitten wird, richtet ſich nach der Größe des Winkels ESD. Aus obiger Proportion läßt ſich zeigen, daß unter einerlei Umſtänden DF abnimmt, wenn E weiter von D wegrückt. Es wird daher EF von einem unendlich nahe liegenden in der Ebene ESD reflectirten Strahle oberhalb SD geſchnitten; alle Durchſchnittspunkte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben eine Linie von eigener Krümmung, die man *cauſtiſche Linie* nennt, und alle cauſtiſchen Linien zuſammen beſtimmen eine krumme Fläche, welche *cauſtiſche Fläche* heißt. Die herzförmige lichte Linie, die man innerhalb eines cylindriſchen Glasgefäßes oder eines Ringes bemerkt, wenn dieſe Gegenſtände ſtark beleuchtet ſind, zeigt die Geſtalt eines Durchſchnittes dieſer Fläche.

15. Aus der Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ leitet man leicht folgende Reflexionsgeſetze für Hohlſpiegel unter obiger Vorausſetzung ab: 1) Für $a = \infty$ iſt $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Punkte auf den Hohlſpiegel auffallen, mithin parallel ſind, vereinigen ſich nach der Reflexion im Hauptſtrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieſer Vereinigungspunkt paralleler Strahlen heißt **Brennpunkt** (focus), ſeine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) **Brennweite**, weil man in dieſem Punkte brennbare Körper mittelſt des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umſtand, der den Hohlſpiegeln auch den Namen **Brennſpigel** erworben hat. 2) Je kleiner a, deſto größer wird α, d. i. je mehr ſich der leuchtende Punkt dem Spiegel nähert oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto mehr entfernt ſich der Vereinigungspunkt der Strahlen vom Spiegel. Stets aber iſt für $a > 2p$, $\alpha < 2p$, aber zugleich $\alpha > p$. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunkt der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Punkte zuſammen, wenn ſich letzterer im Mittelpunkte der Krümmung befindet. 4) Iſt $a < 2p$ aber doch $a > p$, ſo iſt $\alpha > 2p$, d. h. befindet ſich der leuchtende Punkt innerhalb des Mittelpunktes der Krümmung, ſo fällt der Vereinigungspunkt der Strahlen außer dieſen Mittelpunkt. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen ſich die Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, nach ihrer Reflexion erſt in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. ſie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, ſo bekommt α einen negativen Werth, d. h. ſteht der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, ſo werden ſeine Strahlen ſo reflectirt, als kämen ſie von einem Punkte hinter dem Spiegel her, oder ſie bleiben divergirend.

16. Die durch Reflexion zu einem Punkte vereinigten Strahlen gehen davon ſo aus, als wäre dort der urſprünglich leuchtende Punkt, man muß daher an dieſer Vereinigungsſtelle das Bild des leuchtenden Punktes ſehen; ja ſelbſt ſolche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung erhalten, als kämen ſie von demſelben Punkte her, wenn ſie ſich auch nie vereinigt haben, müſſen in uns die Empfindung erregen, als wenn ſie wirklich davon herkämen, und deßhalb ſieht man auch in dieſem ſcheinbaren Vereinigungspunkte ein Bild. Aus dieſem folgt, daß durch einen Hohlſpiegel immer ein Bild entſteht, wenn ſich der leuchtende Punkt nicht in dem Brennpunkte befindet, und daß dieſes Bild vor dem Spiegel erſcheint, ſo lange der leuchtende Punkt außer der Brennweite iſt, hingegen hinter demſelben, wenn er ſich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch dieſe Geſetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenſtandes gegeben iſt, verſteht ſich wohl von ſelbſt.

17. So lange das Bild eines Gegenſtandes vor dem Hohlſpiegel erſcheint, iſt es immer verkehrt; es wächſt an Ausdehnung, ſo wie es ſich vom Krümmungsmittelpunkte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner ſeyn, als der Gegenſtand. Iſt nämlich AB

(Fig. 177) der Durchſchnitt eines Hohlſpiegels, C der Mittelpunkt ſeiner Krümmung, DE ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint D in dem Punkte e des Hauptſtrahles DCG, und E im Punkte d des Hauptſtrahles ECF; die Bilder der zwiſchen D und E gelegenen Punkte liegen zwiſchen e und d, ſo daß de das ganze Bild von DE vorſtellt, welches offenbar vor AB und verkehrt erſcheint. Zur Beſtimmung der Größe von de kann man ohne Fehler annehmen

$$de : DE = Cd : EC \text{ oder } \frac{de}{DE} = \frac{Cd}{EC}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erſcheint, iſt es immer aufrecht und übertrifft den Gegenſtand an Größe; denn für dieſelbe Bedeutung von AB und C in Fig. 178, und unter der Vorausſetzung, daß DE der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenſtand ſey, erſcheint das Bild d von D hinter dem Spiegel im Hauptſtrahle CDd, und das von E im Punkte e des Hauptſtrahles CEe, mithin iſt de das ganze Bild von DE, es ſteht offenbar aufrecht und iſt größer als DE. Von dieſem kann man ſich auch auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlſpiegel immer mehr und mehr nähert, und ihr Bild mit weißem Papiere auffängt.

18. Nimmt man in dem für einen Hohlſpiegel entwickelten Ausdruck p negativ, d. h. ſchreibt man —p ſtatt p, ſo entſteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right),$$

aus der man die Lage des von einem Converſpiegel reflectirten Strahles gegen ſeinen Hauptſtrahl ableiten kann. Man erſieht daraus leicht, daß für jeden poſitiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt, und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte auf einen Converſpiegel fallen, ſo reflectirt werden, als kämen ſie von einem Punkte hinter dem Spiegel. In dieſem Punkte erſcheint daher das Bild jenes Punktes. Da α deſto größer wird, je größer p und a iſt, ſo muß die Entfernung dieſes Bildes vom Spiegel deſto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punkt vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmeſſer des Spiegels iſt.

19. Das Bild eines leuchtenden Gegenſtandes in einem Converſpiegel muß dieſem gemäß auch hinter der Spiegelfläche entſtehen. Es erſcheint aufrecht und verkleinert; letzteres deſto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erſcheint. Denn iſt AB (Fig. 179) ein Durchſchnitt eines Converſpiegels, C der Mittelpunkt ſeiner Krümmung, DE ein leuchtender Gegenſtand, und erſcheint das Bild von D im Punkte d des Hauptſtrahles DC, das von E im Punkte e ſeines Hauptſtrahles EC; ſo kann de das Bild von DE vorſtellen, und man kann die Proportion annehmen

$$de : DE = dC : DC.$$

20. Mehr zur Unterhaltung als zum wiſſenſchaftlichen Behufe hat man cylindriſche und coniſche Spiegel. Erſtere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convexe oder concave

Spiegel angeſehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders ſpiegelt, und deßhalb erſcheinen in ihnen die Bilder der Gegenſtände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Coniſche ſind der Höhe nach plan, der Breite nach aber convex, und zwar gegen die Spitze des Kegels immer mehr; daher erſcheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit ſtets nach oben zu abnehmender Breite. Es iſt begreiflich, daß, ſo wie durch dieſe Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenſtände verzogen und verunſtaltet erſcheinen, die der nach einer gewiſſen Regel verunſtalteten vom ſchönſten Bau geſehen werden können. Hierauf beruhen die ſogenannten katoptriſchen Anamorphoſen. (Siehe: *Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova.* Leipzig, 1714. Schmidt's analytiſche Optik. Göttingen, 1834. S. 296.)

Drittes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

21. Wenn ein Lichtſtrahl ſchief auf einen durchſichtigen Körper fällt, ſo wird (beſondere Fälle, die erſt ſpäter betrachtet werden können, ausgenommen) ein Theil desſelben reflectirt, und geht in das vorige Mittel zurück, ein anderer Theil desſelben aber geht (wenigſtens im Allgemeinen) in den Körper hinein, und nimmt dabei eine von ſeiner urſprünglichen abweichende Richtung an. Dieſe Ablenkung von ſeiner Richtung heißt man die Brechung des Lichtes. Iſt z. B. AB (Fig. 180, a und b) ein Durchſchnitt der Einfallsebene des Strahles mit der Grenze zweier durchſichtigen Mittel, SCx der einfallende Strahl, DCE die in dem Einfallspunkte C auf AB errichtete Senkrechte (das Einfallsloth), Cy die Richtung des gebrochenen Strahles; ſo heißt ECy der Brechungswinkel. In vielen durchſichtigen Körpern mit kryſtalliniſchem Gefüge wird ein Lichtſtrahl in zwei Büſchel zertheilt, deren jeder nach eigenen Geſetzen gebrochen wird. Hier ſoll aber nur von jenen Geſetzen der Brechung die Rede ſeyn, nach denen ſich das Licht in unkryſtalliniſchen Subſtanzen richtet, dergleichen die Luftarten, das Waſſer und andere tropfbare Flüſſigkeiten, gleichförmig gekühltes Glas ꝛc. ſind. Wenn ein cylindriſcher Lichtbüſchel in ein brechendes Mittel einfällt, ſo muß er offenbar wieder als ſolcher aus dem Mittel kommen, falls alle ſeine Theile gleich ſtark abgelenkt (gebrochen) werden; hingegen wird dieſer Lichtbüſchel divergirend werden, wenn einige ſeiner Theile mehr, andere weniger abgelenkt werden. Der Erfahrung zu Folge iſt letzteres der Fall, man bemerkt aber dieſe Ungleichheit der Brechbarkeit nur dann, wenn der Strahl ſtark aus ſeiner urſprünglichen Richtung gebracht wird. In dieſem Kapitel wird die Sache immer ſo betrachtet, als hätten alle Theile eines Lichtſtrahles denſelben Grad der Brechbarkeit, und wenn von numeriſchen Werthen der Brechbarkeit des Lichtes die Rede iſt, ſo beziehen ſie ſich immer auf Strahlen von mittle-

rer Refrangibilität, mithin auf die Axe des divergirenden Strahlenbüſchels. Unter dieſer Vorausſetzung gelten für die *gewöhnliche Brechung* des Lichtes folgende Geſetze: 1) Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene, und rückſichtlich des einfallenden auf der entgegengeſetzten Seite des Einfallslothes. 2) Für dasſelbe brechende Mittel iſt das Verhältniß zwiſchen den Sinuſſen des Einfalls- und Brechungswinkels beſtändig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Iſt daher der Einfallswinkel $DCS = a$, der Brechungswinkel $ECy = b$, ſo iſt $\sin a : \sin b = n : 1$ oder $\frac{\sin a}{\sin b} = n$; wo n eine Zahl bedeutet, die immer denſelben Werth hat, ſo lange ſich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt ſie den Exponenten des *Brechungsverhältniſſes* für beide Mittel, oder kürzer den *Brechungsindex* auch den *Brechungsexponenten*. 3) Iſt n der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus einem Mittel A in ein anderes B, d. h. verhält ſich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie $n : 1$, ſo iſt für den Uebergang des Lichtes aus dem Medium B in A das Brechungsverhältniß $= 1 : n$, mithin der Brechungsindex $= \frac{1}{n}$, d. h. der reciproke Werth desjenigen, der bei dem umgekehrten Gange des Lichtes Statt findet. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß bei dem Durchgange des Lichtes durch einen von parallelen Ebenen begrenzten Körper, welcher beiderſeits von einerlei Mittel umgeben iſt, der aus dieſem Körper tretende Strahl ſtets dem eintretenden parallel iſt. 4) Iſt für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium A in ein anderes B der Brechungsexponent $= n$, und für den Uebergang von dieſem Medium B in ein drittes C der Brechungsexponent $= m$, ſo beſteht für den unmittelbaren Uebergang des Lichtes aus dem Medium A in C der Brechungsexponent mn. Auch dieſes folgt aus der Erfahrung, daß ein Lichtſtrahl, der durch zwei Schichten verſchiedener Mittel, deren Grenzflächen parallel ſind, von einem Medium ausgehend, wieder in dieſes gelangt, ſeiner urſprünglichen Richtung parallel austritt. 5) Erhält für eine gewiſſe Größe des Einfallswinkels der Sinus des Brechungswinkels, in Folge des beſtehenden Brechungsverhältniſſes, einen die Einheit überſteigenden Werth, in welchem Falle der Brechungswinkel imaginär wird, ſo findet auch kein Uebergang des Lichtes in das zweite Mittel Statt, ſondern dasſelbe kehrt nach dem Reflexionsgeſetze in das erſte Medium zurück. Man ſagt dann, das Licht erleide eine *totale Reflexion*. Da, wenn a der Einfalls-, b der Brechungswinkel, n der Brechungsindex iſt, die Gleichung $\sin b = \frac{1}{n} \sin a$ beſteht, und $\sin a$ nicht größer werden kann als die Einheit, ſo kann dieſer Fall nur dann eintreten, wenn $n < 1$ iſt. Dieß vorausgeſetzt, wird bei einem Einfallswinkel, deſſen Sinus

größer als n iſt, $\sin b > 1$. Für $\sin a = n$ ergibt ſich $\sin b = 1$, mithin $b = 90^\circ$. Bei dieſem Werthe von a, der die Grenze zwiſchen den Einfallswinkeln iſt, bei welchen Brechung und totale Reflexion obwaltet, ſtreift der gebrochene Lichtſtrahl längs der Trennungsfläche der beiden Mittel hin. Wenn $n < 1$ iſt, ſo iſt ſtets $\sin b > \sin a$, mithin auch der Brechungswinkel b größer als der Einfallswinkel a (Fig. 180, b). In dieſem Falle ſagt man, die Brechung des Lichtes erfolge vom Einfallslothe, und das Mittel, aus dem das Licht kommt, breche dasſelbe ſchwächer als jenes wohin es geht. Es findet demnach die totale Reflexion des Lichtes nur bei deſſen Uebergang von einem ſchwächer brechenden Mittel in ein ſtärker brechendes Statt. Iſt aber $n > 1$, mithin $a > b$ (Fig. 180, a), ſo heißt es, die Brechung des Lichtes erfolge zum Einfallslothe. Von zwei Mitteln, welche bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dritten Mittel in ſelbe, es beide zum Einfallslothe brechen, wird jenes das ſtärker brechende genannt, dem der größere Brechungsindex entſpricht. Geſchieht aber die Brechung vom Einfallslothe, ſo gehört dem ſtärker brechenden Mittel der kleinere Brechungsindex.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in ein materielles Mittel erfolgt Brechung des Lichtes zum Einfallslothe; ein Gleiches geſchieht bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Waſſer, Glas ꝛc. Doch iſt der Satz, den man ehemals häufig ausſprechen hörte, »bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünnen Mittel in ein dichteres werde es zum Einfallslothe, mithin bei dem Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres vom Einfallslothe gebrochen,« unrichtig, und kann nur zugelaſſen werden, wenn beide Mittel dieſelbe materielle Beſchaffenheit und einerlei Aggregationszuſtand haben, und ihre optiſche Heterogeneität lediglich der Verſchiedenheit ihrer Dichte verdanken. Brennbare Körper zeichnen ſich vor anderen durch ihr großes Lichtbrechungsvermögen aus, wie z. B. ätheriſche Oehle, Weingeiſt, Aether, Schwefelkohlenſtoff, der Diamant, deſſen Brennbarkeit darnach, ehe ſeine chemiſche Natur bekannt war, vermuthet wurde.

Die Größe $n^2 - 1$ iſt es, welche die brechende Kraft oder das abſolute Brechungsvermögen eines Mittels mißt, in ſo ferne der Beſtimmung von n ein feſtgeſetztes Mittel, aus welchem das Licht kommt, zum Grunde gelegt wird. Heißt d die Dichte, ſo wird $\frac{n^2 - 1}{d}$ als Maß des ſpecifiſchen Brechungsvermögens des betreffenden Mittels angeſehen. Die brechende Kraft eines Gaſes iſt genau ſeiner Dichte proportionirt. Dasſelbe gilt nach Dulong für Dünſte, ſo lange ſie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt ſind, in der Nähe dieſer Grenze aber wächſt ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniß als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gaſes nicht, wenn ſie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gaſes oder gemengter Dünſte läßt ſich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemiſch zuſammengeſetzten Gaſes ſteht in keiner bekannten Beziehung zu jener ſeiner Beſtandtheile. (Biot und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373.)

22. Der Brechungsexponent und die Sinuſſe des Einfalls- und

Brechungswinkels hängen daher ſo innig mit einander zuſammen, daß, wenn zwei dieſer Größen gegeben ſind, ſich die dritte daraus beſtimmen läßt. Man hat auch wirklich auf dieſem Wege theils die Richtung des gebrochenen Strahles, theils den Werth von n in der oben angegebenen Bedeutung kennen gelernt. Zum letzteren Behufe mußte man dem Körper, für welchen n beſtimmt werden ſollte, eine Geſtalt geben, bei welcher die Ablenkung des gebrochenen Strahles von der urſprünglichen Richtung, d. i. der ſpitze Winkel beider recht groß wird, um den Einfluß der ſtets beim Meſſen desſelben vorfallenden Fehler auf das Reſultat möglichſt zu ſchwächen. Körper, die mit parallelen Flächen begrenzt ſind, laſſen ſich dazu nicht brauchen, weil der austretende, gebrochene Strahl dem einfallenden parallel iſt; ein dreiſeitiges Prisma iſt aber zu dieſem Zwecke vorzüglich brauchbar. Es ſey A B C (Fig. 181) ein Querſchnitt eines ſolchen Prisma's, der auf der Axe desſelben ſenkrecht ſteht, und es falle ein Strahl S D in der Ebene des Schnittes auf die Fläche A B. Iſt E D das Einfallsloth und der Stoff des Prisma's von der Art, daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, ſo kann D F den gebrochenen Strahl vorſtellen. Dieſer wird aber beim Austritte aus dem Prisma in F wieder gebrochen und zwar vom Einfallslothe F H, ſo daß er nach der zweiten Brechung die Richtung F G hat. Es iſt nicht ſchwer, durch Rechnung den Zuſammenhang zwiſchen dem Einfallswinkel S D E, dem brechenden Winkel A B C des Prisma's, dem Winkel G K x, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und den Werth von n zu finden. Um dieſe Größe für Flüſſigkeiten zu beſtimmen, wählt man ein hohles Prisma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden beſteht, füllt die Flüſſigkeit ein und behandelt ſie nun wie einen feſten Körper. Bei der Prüfung von Gaſen und Dünſten muß dieſes Prisma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung ſtehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können.

Iſt für irgend ein Mittel der Werth von n bekannt, ſo iſt es eine leichte Arbeit, für jeden gegebenen Einfallswinkel und für jede Geſtalt der Oberfläche des brechenden Mittels die Richtung des gebrochenen Strahles anzugeben. So laſſen ſich viele Erſcheinungen mit Leichtigkeit erklären, z. B. warum ein Gefäß minder tief erſcheint, wenn es Waſſer enthält, als wenn es leer iſt, warum man einen ins Waſſer getauchten Stab verkürzt oder gebrochen ſieht, warum ein Gegenſtand im Waſſer größer und durch ein Rautenglas angeſehen vervielfältigt erſcheint. Auch folgende, ſehr intereſſante Erſcheinungen erklären ſich aus den angeführten Brechungsgeſetzen, beſonders aus 2 und 4: Gießt man in ein gläſernes, ſchmales und ziemlich langes Gefäß Waſſer, und hierauf mittelſt einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelſäure, die ſich ſehr langſam mit dem Waſſer miſcht, und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmählich an Dichte abnehmen, und ſieht hierauf durch die Flüſſigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenſtand; ſo bemerkt man

ihn doppelt. Dasſelbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenſtand ſo anſieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftſchichten gehen muß, die durch ein glühendes Eiſen oder durch einen von der Sonne beſchienenen, ſchwarzen Körper verſchieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das ſcheinbare Zittern der Gegenſtände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache ꝛc. anſieht.

Viertes Kapitel.

Analyſe des Lichtes.

23. Denkt man ſich in einem verfinſterten Zimmer eine äußerſt kleine Oeffnung an einem Fenſterladen, die als Punkt betrachtet werden kann, und nimmt man an, daß directes Sonnenlicht durch ſie eindringe; ſo hat der von der Sonne kommende Lichtkegel ſeine Spitze an dieſer Oeffnung, und von da an bildet ſich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieſer mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels ſenkrecht ſteht, ſo ſtellt ſich der Durchſchnitt beider als ein leuchtender Kreis dar, der als ein Bild der Sonne betrachtet werden kann, das ſo vielmal linear verkleinert erſcheint, als ſeine Entfernung von der Oeffnung in der Diſtanz der Sonne von derſelben enthalten iſt. Hat aber die Oeffnung am Fenſterladen eine merkliche Ausdehnung, und iſt ſie z. B. kreisrund, ſo dringen unendlich viele ſolche Lichtkegel ein, und geben zuſammen ein Sonnenbild, deſſen Halbmeſſer um den der Oeffnung größer iſt, als im vorigen Falle. Es iſt nicht an allen Punkten gleich ſtark erleuchtet, ſondern an den Rändern mit einem Halbſchatten umgeben. Stellt z. B. S S′ (Fig. 182) den Durchmeſſer der Sonne vor, a b den Durchmeſſer einer kreisrunden Oeffnung, A B eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht fällt; ſo darf man nur die geraden Linien S a c, S b s′, S′a s, S′b d ziehen, um einzuſehen, daß in den Raum zwiſchen c und d von allen Punkten der Sonne Licht falle, und daß d s und c s′ im Halbſchatten liegen.

24. Läßt man einen ſolchen Lichtkegel auf ein dreiſeitiges durchſichtiges Prisma A B C (Fig. 183) fallen, deſſen Axe horizontal ſteht; ſo erſcheint ſtatt des vorhin runden Sonnenbildes ein längliches, oben und unten abgerundetes, ſeitwärts von parallelen geraden Linien begrenztes Bild (Farbenbild, Spectrum), deſſen Breite dem Durchmeſſer des vom ungebrochenen Lichte erzeugten Sonnenbildes gleichkommt, deſſen Länge aber von dem Einfallswinkel des Strahles, vom brechenden Winkel des Prisma's und von deſſen brechender Subſtanz abhängt. Es iſt zugleich gefärbt und es zeigt ſich darin, wenn man es ſeiner Länge nach betrachtet in jedem Querſchnitte eine andere Farbenabſtufung, welche ſich in die daran grenzenden Farben allmälig verläuft. Iſt die Kante des brechenden Winkels des Prisma's abwärts gekehrt, ſo erſcheint der unterſte Theil des Spectrums dunkelroth, von da an aufwärts findet man es heller roth, und allmälich durch eine Orange-

farbe ins Gelbe übergehend. Dieſes wird nach oben zu immer mehr grünlich, endlich ganz grün. Die grüne Farbe nimmt weiter oben eine Beimiſchung von Blau an, und zieht ſich gänzlich ins Lichtblaue hinüber, welches immer tiefer blau werdend, durch das Indigoblaue ins dunkelſte Violett ſich verliert, womit das Farbenbild ſich endigt. Die Intenſität des Lichtes iſt an verſchiedenen Stellen des Farbenbildes ſehr verſchieden, und im gelben Theile größer, als im grünen und rothen, und in dieſem wieder größer als im blauen und violetten. Nach obiger Beſchreibung ſind daher in dem Spectrum ſechs Hauptfarben bemerkbar, nämlich die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue und violette. Newton jedoch, dem wir die Unterſuchung dieſer Erſcheinung vorzüglich verdanken, fand ſich bewogen, um zwiſchen den Farben im Sonnenbilde und den ſieben Tönen einer Octave eine Aehnlichkeit herauszubringen, ſieben verſchiedene Farben im Spectrum anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue, indigoblaue und violette.

Um dieſe folgenreiche Erſcheinung, welche zu den ſchönſten gehört, die die Phyſik aufzuweiſen hat, in größter Reinheit und Farbenpracht hervorzubringen, bediene man ſich eines ganz reinen Glasprismas mit vollkommen ebenen Wänden und einem brechenden Winkel von etwa 60°, ſtelle es ſo nahe als möglich an die Oeffnung, wozu man am beſten eine nicht zu breite Spalte mit parallelen Rändern wählt, der man die Kante des brechenden Winkels parallel macht, und gebe dem bei heiterem Himmel einfallenden Sonnenſtrahl mittelſt eines Helioſtates die ſchickliche Richtung, wenn er nicht für ſich ſchon eine anwendbare Richtung hat, was, um ſeine Intenſität ungeſchwächt zu erhalten, immer am vortheilhafteſten iſt.

25. Aus dieſer Erſcheinung folgt unmittelbar: 1) Daß ein Sonnenſtrahl aus Theilen von verſchiedener Brechbarkeit beſtehe, indem offenbar die Strahlen bei r, dem rothen Anfang des Spectrums, viel weniger gebrochen werden als die bei v, dem violetten Ende. 2) Daß die Strahlen, deren Brechbarkeit um eine gewiſſe Größe verſchieden iſt, in uns die Empfindung verſchiedener Farben erregen. Um dieſe Folgerung ganz ſicher zu ſtellen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical ſtehendes fallen. Waren die aufgeſtellten Sätze richtig, ſo mußte das neue Sonnenbild dasſelbe Farbenſpiel zeigen wie das erſte, und wenn dieſes vertical ſtand, wie rv in Fig. 184, und in r das rothe und in v das violette Ende hatte, ſo mußte jenes ſchief ſtehen wie r′v′, und in r′ roth in v′ violett erſcheinen. Die Erfahrung entſprach dieſer Vorausſetzung auf das Genaueſte, und beſtätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwiderſprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel A (Fig. 185) auffallen, die eine kleine Oeffnung hat, ſo wird der auf die Oeffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen ſolchen Strahl mit einem zweiten Prisma B auf, ſo wird er wohl gebrochen und zwar deſto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle abſteht und ſich dem violetten nähert, er erſcheint aber mit derſelben Farbe, wie

vor der zweiten Brechung. Man kann dieſes als einen neuen Beweis für die vorhin angeführte Folgerung anſehen, und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtſtrahl des Spectrums, welcher die Eigenſchaft hat, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, dieſe Eigenſchaft durch Brechung nicht verliere.

26. Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt ſich derſelbe Zuſammenhang zwiſchen Erregung einer beſtimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt ſich davon ſehr leicht, wenn man auf eine weiße Tafel zwiſchen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke malt, wovon z. B. eines roth, das andere grün iſt. Sieht man ſie mit einem dreiſeitigen Prisma an, deſſen brechender Winkel aufwärts gekehrt iſt, ſo erſcheint das grüne höher als das rothe, zum Beweiſe, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von dieſem kommenden gebrochen werden.

27. Man kann die Anzahl der verſchieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenſtrahl beſteht, nicht angeben, ſie iſt unendlich groß; denn beſtünde er aus einer endlichen Anzahl ſolcher Strahlen, ſo könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erſcheinen, es würden ſich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an deſſen Seiten man die kreisförmig gebogenen Einſchnitte bemerken könnte, wie in Fig. 186. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenſtrahl beſtehe aus ſieben Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit, können darunter nur ſolche verſtehen, die in uns die Empfindung weſentlich verſchiedener Farben erregen. Allein ſelbſt jene Strahlen, die im Allgemeinen nur eine Farbenempfindung erzeugen, beſtehen aus verſchieden brechbaren Theilen, weil jenes Licht, welches der rothen Grenze des Farbenbildes näher liegt, auch eine geringere Brechbarkeit hat, als das mehr davon entfernte. Die Erfahrung, daß man durch eine Miſchung von Roth, Gelb und Blau, oder von Roth, Grün und Violett eine Farbe erzeugen kann, wie die des unzerlegten Sonnenſtrahls, berechtiget keineswegs zu dem Schluſſe, daß derſelbe nur aus dieſen Strahlen beſtehe. Auch die neueſtens von Brewſter aufgeſtellte Behauptung, das Farbenbild beſtehe aus drei gleich langen Bildern, einem rothen, gelben und violetten, die an verſchiedenen Stellen verſchiedene Intenſitäten haben, und nach Maßgabe derſelben durch ihre gleichzeitige Einwirkung auf das Auge die ſechs bekannten Farben erzeugen, eine Behauptung, welche er auf die Erſcheinungen gründet, die das Farbenbild darbieten ſoll, nachdem die Strahlen desſelben durch verſchiedene gefärbte Gläſer gegangen ſind, und hiedurch einiger Beſtandtheile beraubt wurden, bedarf noch fernerer Beweiſe. (Pogg. Ann. 28. 386.) Läßt man vom weißen Lichte eine oder mehrere Farben weg, ſo bleibt eine andere übrig, die mit jenen das Weiß wieder herſtellt. Solche Farben, die ſich gegenſeitig zu Weiß ergänzen, heißen complementäre Farben. Es läßt ſich leicht einſehen, daß die complementäre Farbe von

Roth Grün, von Orange Blau, von Gelb Violett ſey. Läßt man nämlich alles Roth, d. h. den eigentlich rothen Antheil, das Roth im Orange und Violett weg, ſo bleibt nur Gelb, Gelb, Grün, Blau, Blau, mithin als Reſultat aller zuſammengenommen Grün, und ſo von den übrigen Farben. (*Mayer comm. de affiniate colorum; in opp. ined. Goett.* 1775. Wünſch Verſuche und Beobachtungen über die Farben des Lichtes. Leipzig, 1792.)

28. Man darf aber nicht glauben, daß das Licht eines Farbenbildes, welches man bei der Darſtellung desſelben auf vorhin genannte Weiſe in irgend einer Querlinie antrifft, ſchon gleichartiges Licht ſey. Bei dem gewöhnlichen Verfahren ſteht ſelbſt beim Gebrauche des beſten Prisma's die Ausdehnung der Oeffnung am Fenſterladen, und der dem Lichte dargebotenen Fläche des Prismas, wie auch die Größe des leuchtenden Körpers der Entwicklung homogener Farben im Wege. Dieſe Umſtände machen nämlich, daß eine Art von Strahlen größtentheils in die nächſt vorhergehende fällt, und mehrere farbige Strahlen unter einander gemengt erſcheinen. Um ſich den Anblick eines Farbenbildes zu verſchaffen, bei welchem dieſe Mengung ungleichartigen Lichtes nicht Statt hat, laſſe man das durch eine enge Spalte geleitete Licht auf ein gutes in ſolcher Entfernung aufgeſtelltes Prisma fallen, daß man die Spalte als eine leuchtende Linie betrachten darf, die unter ſehr kleinen Winkeln divergirende Strahlen auf das Prisma ſendet. Nach der Brechung durch das Prisma haben Strahlen von gleicher Brechbarkeit ſolche Richtungen, als würden ſie von einer und derſelben leuchtenden Linie direct ausgeſendet; Strahlen von verſchiedener Art aber ſcheinen von verſchiedenen einander parallelen Linien auszugehen. Nimmt man nun dieſe Strahlen mit dem Auge auf, und gibt man dem Prisma durch Drehung um ſeine Axe eine ſolche Stellung, daß die Linien, von welchen die Strahlen herzukommen ſcheinen, in die Sehweite des Auges fallen, ſo ſieht man, in ſo fern das Licht unendlich viele Strahlengattungen enthält, auch unendlich viele dicht an einander geſtellte und daher von einander nicht trennbare Lichtlinien (Spaltenbilder), welche zuſammen ein Farbenbild darſtellen, das in jeder Querlinie gleichartiges Licht enthält. Mit großem Vortheile kann man hiebei dem Auge durch ein gutes Fernrohr zu Hülfe kommen. Iſt letzteres ſo angeordnet, daß man ohne Prisma die Spalte deutlich ſieht, ſo müſſen die Bilder der Spalte in dieſelbe Entfernung vom Prisma rücken, in welcher die Spalte ſteht, mithin das Prisma ſo ſtehen, daß die ein- und austretenden Strahlen mit den zugehörigen Seitenflächen einerlei Winkel machen, wornach es leicht iſt, das Fernrohr und Prisma gehörig in Verbindung zu ſetzen.

29. Enthält das Licht, welches durch ein Prisma zerlegt wird, innerhalb der Grenzen ſeines Farbenbildes nicht Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit, ſondern fehlen Strahlen von einer oder mehreren Farbenabſtufungen im Farbenbilde, und hat man letzteres auf dem beſchriebenen Wege ſo vorgerichtet, daß alles heterogene Licht darin geſondert iſt; ſo muß ſich an jeder Stelle, welche fehlenden Strahlen

entſpricht, eine Lücke zeigen, die, je nachdem nur einzelne getrennte Strahlengattungen, oder ganze Reihen von unmittelbar an einander grenzenden Strahlen mangeln, als eine dunkle Linie oder als ein dunkler Streifen von meßbarer Breite wahrgenommen wird. Dieß iſt bei dem Sonnenlichte, wie ein von Fraunhofer zuerſt angeſtellter Verſuch zeigt, wirklich der Fall. Stellt man nämlich in ein verfinſtertes Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines guten Fernrohres, und läßt durch eine ſchmale aber hohe Oeffnung Sonnenlicht auf dasſelbe fallen, bei einer ſolchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Oeffnung deutlich ſieht, und einer ſolchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demſelben Winkel verlaſſen, unter dem ſie auffallen; ſo erblickt man in dem horizontal ſtehenden Farbenbilde unzählige ſtarke und ſchwache verticale Linien, die dunkler ſind, als der übrige Theil des Farbenbildes; einige davon ſind ſogar völlig ſchwarz. Dieſe Linien ſind immer und zwar in derſelben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma beſteht und was es für einen brechenden Winkel hat, nur nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältniſſe mit der durch den brechenden Winkel des Prisma's und die Vergrößerung, welche das Fernrohr geſtattet, bedingten Größe des Farbenbildes ab und zu. Die vorzüglichſten derſelben ſind bei ſchicklicher Stellung des Prisma's ſogar mit bloßem Auge gut wahrnehmbar. Bei dieſem Verſuche kann man auch den großen Unterſchied in der Intenſität der verſchiedenfarbigen Strahlen viel deutlicher erkennen, als es an einem auf die gewöhnliche Weiſe erzeugten Farbenbilde möglich iſt. Wenn man den blauen und violetten Theil recht bequem ohne Ermüdung des Auges anſehen kann, ſo hat der gelbe Antheil eine für das Auge unerträgliche Lichtſtärke, und man muß die Oeffnung am Fenſter verkleinern, um auch hier die zur Beobachtung paſſende Helligkeit zu Stande zu bringen. Nach Fraunhofer läßt ſich die Lichtſtärke der verſchiedenen Farbenſtellen im Spectrum durch folgende Zahlen ausdrücken: Aeußerſtes Roth 32, Mitte desſelben 94, Orange 640, zwiſchen Gelb und Orange 1000, Grün 480, Lichtblau 170, zwiſchen Blau und Violett 31, Mitte von Violett 5. 6.

Um ſich in dem Farbenbilde des Sonnenlichtes, vorzüglich für Zwecke der practiſchen Optik mit Leichtigkeit orientiren zu können, hat Fraunhofer die an den merkwürdigſten Stellen befindlichen Linien vom rothen gegen das violette Ende hin mit den Buchſtaben A, B, C ꝛc. bis I bezeichnet. A (Fig. 187) iſt eine ſcharf begrenzte Linie nahe am Anfange des Spectrums im dunklen Roth. B und C ſind ſcharfe ſchwarze Linien von merklicher Dicke im lichtern Roth. Zwiſchen A und B befindet ſich ein Bündel a feiner Linien, die gleichſam einen Streifen bilden. D iſt eine Doppellinie an der Uebergangsſtelle von Orange in Gelb, E iſt eine Gruppe feiner Linien im Grün, F eine ſtarke Linie im Blau. Zwiſchen E und F, nahe bei E, erblickt man drei ſehr ſtarke Linien b, die zu den ausgezeichnetſten im Farbenbilde gehören. G iſt eine Gruppe feiner Linien im tief Indigblau. Bei H im Violett ſteht ein merkwürdiger aus vielen feinen Linien und einer ſtarken Mittellinie

gebildeten Streifen, und nahe dabei ein zweiter ähnlicher. Fraunhofer zählte von B bis H ungefähr 574 Linien. Brewſter dagegen hat das Sonnenſpectrum in mehr als 2000 deutlich wahrnehmbare Theile getheilt, worin ſich dunkle Linien befinden. Ob aber Fraunhofer's Darſtellung des Sonnenſpectrums wirklich der Irrthümer beſchuldigt werden könne, die ihm Brewſter zur Laſt legt, bedarf einer weiteren Unterſuchung (Pogg. Ann. 38. 58).

30. Es iſt klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtenden Körper analyſiren kann. Faſt alle geben ein Spectrum mit mehreren Farben, doch gibt es einige, die unmittelbar homogenes Licht ausſenden. Läßt man das Licht eines brennenden Körpers, welches durch ein Prisma analyſirt keine dunklen Linien im Farbenbilde zeigt, durch ein paſſendes farbiges Mittel gehen, bevor es auf das Prisma gelangt, ſo erſcheinen dunkle Linien im Spectrum, und es ändert ſich mit der Natur jenes Körpers und des farbigen Mittels die Anzahl, Lage und Beſchaffenheit der dunklen Linien, oft bleiben ganze Farbenpartien aus.

Das Licht einer Flamme von ſehr ſtark verdünntem Weingeiſte iſt nach Brewſter ganz homogen gelb, und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrſcht und keine durch dunkle Linien unterbrochen iſt. Dieſem ähnlich ſind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin mehrere andere feſte Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen faſt lauter homogenes gelbes Licht; ſobald aber die Heftigkeit des Verbrennens nachläßt, erſcheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird er mit Salpeter gemiſcht und angezündet, ſo gibt er ein Farbenbild, mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt, und davon durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt iſt. Ihr Licht iſt weniger brechbar, als der am wenigſten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie ſcheint vom Kali herzurühren und allen Kaliſalzen zuzukommen, gleichwie die Natronſalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren, beinahe gleich breiten, intenſiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen beſtehendes Spectrum; ſalpeterſaurer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hellglänzenden, dunkelblauen, iſolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte, das durch eine enge Spalte ging, zeigt ſich zwiſchen Roth und Gelb ein lichter Streifen, der augenſcheinlich von einem Ueberſchuſſe homogenen gelben Lichtes herrührt, das von der Flamme ausgeſendet wird, wodurch ein hervorſtechendes gelbes Spaltenbild entſteht; ein ähnlicher, nur minder ſcharf begrenzter Streifen wird im Grün wahrgenommen. Im Lichte des Sirius zeigen ſich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau ſind. Caſtor gibt ein Farbenbild wie Sirius, Pollux gibt viele ſchwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigeuze, Procyon aber ſehr wenige. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte.

Stellt man zwiſchen eine Lichtflamme und die Spalte, durch welche das Licht derſelben auf das Prisma fällt, eine Phiole, welche Joddampf oder Bromdampf enthält, ſo zeigen ſich im Farbenbilde mittelſt eines Fernrohres viele faſt gleichweit von einander abſtehende dunkle Linien; läßt man das Licht durch ſalpetrigſaures Gas gehen, ſo erſcheinen zahlreiche dunkle Linien unregelmäßig im Spectrum vertheilt,

und den von Fraunhofer im Sonnenlichte nachgewieſenen ähnlich. Je dunkler gefärbt das Gas iſt, deſto größer wird die Anzahl dieſer Linien. In einer geſchloſſenen Glasröhre erhitzt nimmt das Gas mit ſteigender Temperatur an Dunkelheit zu, und wird zuletzt, während es früher nur einzelnen Strahlenſorten den Durchgang verwehrte, für alles Licht undurchſichtig. Dieſe intereſſanten Thatſachen wurden von Brewſter entdeckt und von Miller erweitert (Pogg. Ann. 28. 385; 32. 128; 33. 233; 38. 52). Brewſter fand zwiſchen den Linien im Spectrum des durch ſalpetrigſaures Gas geleiteten Lampenlichtes und jenen im Sonnenſpectrum eine merkwürdige Uebereinſtimmung. (Pogg. Ann. am ang. O.) Chlorgas löſcht das Blau im Farbenbilde aus, man nimmt aber keine dunklen Linien darin wahr. Auf ähnliche Weiſe wirkt natürliches Operment. Sehr merkwürdig iſt die von Brewſter entdeckte Einwirkung des oxalſauren Chromoxyd-Kali's auf einen beſtimmten Strahl im rothen Theile des Spectrum's, obgleich dieſer Stoff im feſten Zuſtande wie auch im Waſſer gelöſt, nach Maßgabe der Dicke der Schichte, die dem Lichte dargeboten wird, auf alle Theile des Spectrums abſorbirend wirkt, und ſchon bei der kleinſten Dicke die gelben Strahlen bei D angreift. Es bildet ſich nämlich bei Sonnen- und Lampenlicht in dem Raume B a eine feſte dunkle Linie X ſo daß $BX = \frac{1}{5} Ba$. Die Leichtigkeit, dieſe Linie auch mit minder ſorgfältig gearbeiteten Prismen darzuſtellen, empfiehlt ſie zur Beſtimmung des Brechungsvermögens durchſichtiger Körper in Bezug auf rothes Licht. (Pogg. Ann. 37. 315.) Das Entſtehen dunkler Linien im Farbenbilde gewöhnlichen Flammenlichtes, nachdem dasſelbe durch gefärbte Gaſe gegangen und durch ſelbe einiger Beſtandtheile beraubt worden iſt, ſcheint über das Vorhandenſeyn der Fraunhofer'ſchen Linien im Sonnenlichte Vermuthungen zu geſtatten, als wären ſelbe das Reſultat des Durchganges des Sonnenlichtes durch die Atmoſphäre der Erde, was jedoch noch weiterer Unterſuchungen bedarf. *(Herschel Treat. on Astr. p. 212.)*

31. Verbindet man alles das, was in dieſem Kapitel über das Licht geſagt wurde, ſo erſieht man daraus als unwiderſprechliche Thatſachen: 1) daß ſowohl das directe als reflectirte Sonnenlicht, wie auch das vieler anderer leuchtenden Körper, welches wir demſelben Verſuche unterwerfen können, aus heterogenen Strahlen beſtehe, wovon einige brechbarer ſind als die andern. 2) Daß jedem Strahle, der eine beſtimmte Farbenempfindung erregt, eine beſtimmte Brechbarkeit entſpreche, ſo daß man wegen der innigen Verbindung dieſer zwei Eigenſchaften auch die Strahlen durch die Farben benennen kann, welche dem Grade ihrer Brechbarkeit entſprechen.

Aus dieſem erklären ſich leicht die Erſcheinungen, welche man wahrnimmt, wenn man einen Körper durch ein Prisma anſieht, z. B. warum ein ſchwarzes Quadrat auf weißem Grunde an einem Ende roth, am anderen blau und violett erſcheint; warum ein ſchmaler, weißer Papierſtreifen durch das Prisma aus mehreren gefärbten, parallelen Streifen beſtehend erſcheint; warum ſich ein breiter Streifen nur am Rande gefärbt, in der Mitte weiß zeigt u. ſ. w.

32. Wenn die Grenzen der einzelnen Farben im Spectrum genau beſtimmt wären, ſo könnte man den Brechungsexponenten n für die äußerſten Strahlen jedes Farbenſtreifen finden und die Grenzen der Brechbarkeit angeben, innerhalb welchen jeder Strahl dieſelbe Farben-

empfindung erzeugt. Dieſes iſt aber nicht der Fall, und es gibt in einem Spectrum vom Sonnenlichte nichts ſcharf Begrenztes und genau dem Orte nach Beſtimmbares als die dunklen Fraunhofer'ſchen Linien. Darum kann man auch nur die den Stellen dieſer Linien entſprechenden Brechungsexponenten mit Schärfe beſtimmen. Iſt a der Einfallswinkel eines Strahles bei dem Uebergange desſelben aus einer durchſichtigen Subſtanz in die Luft, b′ der Brechungswinkel für die gelben, B und b derſelbe für die violetten und rothen Strahlen; ſo iſt die Ablenkung des gelben Strahles $= b' - a$; jene des violetten und rothen $B - a$ und $b - a$, und daher $B - b$ der Ablenkungsunterſchied zwiſchen dem violetten und dem rothen, d. h. die Größe der Zerſtreuung der äußerſten Farben des Spectrums. Für kleine Werthe von $B - b$ kann man dieſe Größe mit $\sin B - \sin b$ vertauſchen. Heißen demnach die reciproken Werthe der Brechungsexponenten für den violetten, rothen und gelben Strahl nach der Ordnung N, n und n′, welche mit den Werthen der Brechungsexponenten für dieſe Strahlen bei dem Uebergange aus der Luft in das zerſtreuende Mittel übereinſtimmen, ſo daß man hat: $\sin a : \sin B = 1 : N$; $\sin a : \sin b' = 1 : n$ ꝛc.; ſo iſt $\sin B = N \sin a$, $\sin b = n \sin a$ und daher die Zerſtreuung der äußerſten Strahlen

$$\sin B - \sin b = (N - n) \sin a.$$

Es iſt daher dieſe Zerſtreuung dem Unterſchiede der Brechungsexponenten der betreffenden Strahlen in Bezug auf den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das zerſtreuende Mittel proportionirt. Das Zerſtreuungsverhältniß der äußerſten Strahlen gegen die gelben iſt offenbar

$$\frac{\sin B - \sin b}{\sin b' - \sin a} = \frac{(N - n) \sin a}{(n' - 1) \sin a} = \frac{N - n}{n' - 1}.$$

Dieſer Ausdruck heißt das Zerſtreuungsvermögen.

33. In Betreff der Farbenzerſtreuung und ihres Zuſammenhanges mit der Brechung des Lichtes in einem Mittel hat die Erfahrung Folgendes gelehrt: Wenn in demſelben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Aenderung der Dichte dieſes Mittels vergrößert oder verkleinert wird; ſo wird auch in demſelben Verhältniſſe die Größe der Farbenzerſtreuung größer oder kleiner, oder es ändert ſich die Größe N in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich n ändert. Dieſes gilt aber nicht mehr, wenn ſich die Natur des Mittels ändert. Iſt in einem Mittel n größer als in einem anderen, ſo iſt zwar auch N und $N - n$ in jenem größer als in dieſem; aber es wachſen die Größen N und n nicht mehr in demſelben Verhältniſſe, d. h. es ändert ſich die Farbenzerſtreuung nicht in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geſchloſſen werden und jede muß durch eigene Verſuche ausgemittelt werden. Das Zerſtreuungsverhältniß zweier Mittel iſt nicht für alle farbige Strahlen dasſelbe, und man kann daher nicht, wenn dieſes Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben iſt, davon auf das für einen anderen Strahl ſchließen, ſondern man muß jedes eigens beſtimmen.

Brechende und zerſtreuende Kraft einiger Körper.

A. Feſte und tropſbare Körper.

Name.	Dichte.	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$	$\frac{N - n}{n' - 1}$
Diamant	3.521	2.487	5.185	1.473	0.038
Phosphor	1.770	2.424	3.946	2.230	0.128
Schwefelkohlenſtoff .	1.272	1.643	1.699	1.336	0.048
Terpentinöhl . . .	0.885	1.476	1.178	1.332	0.042
Alkohol	0.825	1.374	0.885	1.076	0.029
Zucker	1.606	1.554	1.415	0.943	0.036
Waſſer	1.000	1.336	0.785	0.785	0.035
Schwefelſäure . . .	1.841	1.440	1.074	0.583	0.031
Salpeterſäure . . .	1.480	1.406	0.977	0.660	0.045
Salzſäure	1.156	1.376	0.893	0.776	0.043
Saphir	4.000	1.794	2.218	0.554	0.026
Topas, gelber . . .	3.550	1.638	1.684	0.474	0.025
Beryll	2.650	1.598	1.5536	0.586	0.037
Flintglas	3.723	1.639	1.687	0.453	0.05
Crownglas	2.520	{ 1.544 / 1.534	{ 1.384 / 1.353	0.549 / 0.537	} 0.036

B. Gaſe bei 0° C. und 0.76 M. Barometerſtand.

Name.	n	$n^2 - 1$	d	$\frac{n^2 - 1}{d}$
Atmoſphäriſche Luft	1.000294	0.000589	1.000	0.000589
Sauerſtoffgas	1.000272	0.000544	1.103	0.000493
Waſſerſtoffgas	1.000138	0.000277	0.069	0.004073
Stickgas	1.000300	0.000601	0.976	0.000616
Ammoniakgas	1.000385	0.000771	0.591	0.001304
Kohlenſäuregas	1.000449	0.000899	1.524	0.000581
Chlorgas	1.000772	0.001545	2.470	0.000624
Salzſäuregas	1.000449	0.000899	1.254	0.000717
Stickſtoffoxydulgas	1.000503	0.001007	1.527	0.000659
Salpetergas	1.000303	0.000606	1.039	0.000583
Kohlenoxydgas	1.000340	0.000681	0.972	0.000342
Cyangas	1.000834	0.001668	1.819	0.00092
Oehlbildendes Gas	1.000678	0.001356	0.980	0.001384
Sumpfgas	1.000443	0.000886	0.559	0.001602
Salzäthergas	1.001059	0.002191	2.234	0.000098
Blauſäuregas	1.000451	0.000903	0.944	0.000096
Phosphorgas	1.001159	1.002318	3.442	0.000067
Schwefeligſaures Gas	1.000665	0.001331	2.247	0.000059
Schwefelwaſſerſtoffgas	1.000644	0.001288	1.178	0.001093
Schwefeläthergas	1.00153	0.003061	2.581	0.001185
Schwefelkohlenſtoffgas	1.00150	0.003010	2.644	0.001138
Phosphorwaſſerſtoffgas	1.00789	0.001579	1.256	0.001249

Das Farbenzerſtreuungsvermögen des Glaſes wird durch einen Zuſatz von Blei bedeutend erhöht. Bleihaltiges Glas, ſogenanntes Flint-

glas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerſtreuung, welche im Durchſchnitte ſich zu der des Crown- oder Spiegelglaſes wie 2 : 1 verhält. Bei engliſchem Flintglaſe iſt dieſes Verhältniß 1.5 : 1; bei Waſſer und Crownglas wie 1 : 1.56. Verſchiedene Flintglasgattungen haben auch ein verſchiedenes Zerſtreuungsvermögen, und zwar in der Regel ein deſto größeres, je dichter ſie ſind. Bei den Flintglasſorten, die Fraunhofer (Gilb. Ann. 56. 292.) mit Nr. 13, 3, 30 und 23 bezeichnet, ſind die Zerſtreuungsverhältniſſe gegen Crownglas Nro. 9 nach der Ordnung 2.09, 1.84, 2.04, 208, und ihre ſpecifiſchen Gewichte 3.723, 3.512, 3.695, 3.724. Bei der Sorte 13 war das Zerſtreuungsverhältniß gegen Crownglas Nr. 9 für die rothen Strahlen 2.56, für die orangen 2.87, für die gelben 3.07, für die lichtblauen 3.19, für die dunkelblauen 3.46, für die violetten 3.73. Schwefel, Phosphor und die Metallſalze haben ein ſehr großes Brechungs- und Zerſtreuungsvermögen; Edelſteine brechen das Licht ſtärker als Flintglas, zerſtreuen es aber weniger als Waſſer; Harze, Gummi, Oehle und Balſame zerſtreuen und brechen das Licht beinahe in einerlei Verhältniß ſtärker als Waſſer. Die Oehle verdanken ihr großes Zerſtreuungsvermögen wahrſcheinlich dem Waſſerſtoffe, wenigſtens überzeugte ſich Herſchel, daß das Zerſtreuungsvermögen des Caſſiaöhles faſt um die Hälfte vermindert wurde, nachdem man ihm mittelſt Chlor Waſſerſtoff entzogen hatte. Salzſäure, Salpeterſäure und ſalpetrige Säure zerſtreuen es mehr, Schwefelſäure, Phosphorſäure, Citronen- und Weinſteinſäure weniger als Waſſer. Ein ungemein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzen der Flußſpath, der Chryſolith und der Topas. (Gilb. Ann. 50. 129.)

Fünftes Kapitel.

Brechung des Lichtes in ſphäriſchen Linſen.

34. Eine ſphäriſche Linſe iſt ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derſelben, und zwar 1) beiderſeits erhabene (Fig. 188) (a); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (b); 3) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, ſo daß die erhabene Fläche mehr gekrümmt iſt als die hohle (c); 4) auf beiden Seiten hohle (d); 5) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (e); 6) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, jedoch ſo, daß die erhabene Fläche weniger gekrümmt iſt als die hohle (f). Die Linie A B, in welcher die Mittelpunkte der Krümmungen einer Linſe liegen, heißt ihre Axe, der Punkt der Axe in der Mitte der Linſe, heißt der optiſche Mittelpunkt, und eine Linſe heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um dieſe Axe ſymmetriſch liegen. Nur von ſolchen Linſen ſoll hier die Rede ſeyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinſen an, verfertigt ſie aus weißem Spiegelglaſe, oder zu einem beſonderen Zwecke aus dem Flintglaſe, wohl auch aus gläſernen Schalen, die mit einer durchſichtigen Flüſſigkeit gefüllt werden. Die Formen a, b, c nennt man in dieſen Fällen aus ſpäter zu erörternden Gründen Sammellinſen, die Formen d, e, f Zerſtreuungslinſen. Fresnel ſchlug Linſen vor, die aus mehreren Ringen (polyzonale Linſen) zuſammengeſetzt werden. In beſon-

deren Fällen ſind Linſen aus reinen, durchſichtigen Edelſteinen von Nutzen.

35. Ein Lichtſtrahl Sx (Fig. 189), welcher in der Richtung der Axe auf eine doppelt convexe Linſe fällt, geht ungebrochen durch dieſelbe, weil die Tangenten der Punkte A und B, welche er trifft, mit einander parallel ſind, und es daher gerade ſo iſt, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um dieſe zu beſtimmen, ſey SDy ein Strahl, der mit der Axe einen ſehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpunkte der Krümmungen der Linſe, D der Einfallspunkt des Strahles Sy, cDz das Einfallsloth, DE die Richtung des Strahles nach der erſten Brechung, G der Einfallspunkt beim Austritte aus der Linſe, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Material der Linſe. Man ſetze der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachläßige die Dicke AB der Linſe, und nehme $SD = SA$, $DE = BE$ an, welches bei der vorausgeſetzten, ſehr geringen Divergenz der Strahlen wohl geſchehen kann.

Es iſt dem Geſetze der Brechung gemäß

$$\sin SDz : \sin cDE = n : 1,$$

ferner geben die Dreiecke SDc, cDE

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$
$$\sin cDE : \sin DcE = cE : DE.$$

Verbindet man dieſe drei Porportionen durch Multiplication, und bedenkt, daß $\sin SDz = \sin SDc$ und $\sin DcS = \sin DcE$ iſt, ſo erhält man

$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE$, d. h. $(a + g)\, k = n a (k - g)$,

mithin $n a g + g k = (n - 1)\, a k$, und hieraus durch Diviſion mit $a g k$

$$\frac{n}{k} + \frac{1}{a} = (n - 1)\frac{1}{g} \quad \ldots\ldots \quad (1).$$

Für die Brechung des Strahles DE an der zweiten Fläche der Linſe findet eine ähnliche Gleichung Statt, die man ſogleich aus (1) erhält, wenn man daſelbſt n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α umtauſcht. Hierdurch wird

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{1}{f} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n - 1)\frac{1}{f} \quad \ldots\ldots \quad (2).$$

Addirt man die Gleichungen (1) und (2), ſo hat man:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad (A).$$

36. Aus dieſer Gleichung kann man die Brechungsgeſetze des Lichtes in Linſen für Strahlen, die von der Axe ſehr wenig abweichen, leicht beſtimmen. Sie gibt 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$,

d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Punkte herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen ſich in einem Punkte hinter der Linſe. Man heißt dieſen Punkt den **Brennpunkt** (focus), und ſeine Entfernung von der Linſe die **Brennweite**. Setzt man die Brennweite $=p$, ſo wird

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B),$$

und daher aus (A)

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}-\frac{1}{a} \quad . \quad . \quad (C).$$

2) Je kleiner a iſt, deſto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punkt an die Linſe rückt, oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto weniger convergirend ſind ſie nach der Brechung. 3) Für $a=2p$ wird auch $\alpha=2p$, d. h. ſteht der leuchtende Punkt in der doppelten Brennweite vor der Linſe, ſo vereinigen ſich die von ihm ausgehenden Strahlen in derſelben Entfernung hinter der Linſe. 4) Für $a=p$ wird $\alpha=\infty$, d. i. wenn ſich der leuchtende Punkt im Brennpunkte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 5) Für $a<p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn ſich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite befindet, ſo bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 6) Hat a einen negativen Werth, ſo iſt, wenn man $-a$ ſtatt a ſchreibt, $\frac{1}{\alpha}=\frac{1}{p}+\frac{1}{a}$ mithin $\alpha<a$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Convexlinſe noch mehr convergirend gemacht. Man ſieht hieraus, daß in den Fällen 1, 3, 5, 6, ein Bild des leuchtenden Punktes in der Axe entſteht.

37. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht ſo wie die vorher betrachteten durch die Linſe in einem Punkte vereiniget werden. Fallen z. B. mehrere ſolche Strahlen auf die Linſe Fig. 190 auf, und ſchneiden die der Axe AB nächſten dieſelbe in F, ſo werden die anderen, mehr abweichenden ſich einander in f, f, f″, f″ ſchneiden, und ſo zu beiden Seiten der Axe die ſymmetriſche Curve ff F f″ f″ bilden, welche man Brennlinie (Caustica) nennt. Dieſe Abweichung kommt von der Geſtalt der Linſe her, und heißt **Abweichung wegen der Kugelgeſtalt** (ſphäriſche Abweichung). Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abſtehenden Strahlen hinter der Linſe ein deutliches Bild des leuchtenden Punktes. Will man daher ein ſolches Bild erhalten, ſo muß man die gegen den Rand der Linſe einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten, und der Linſe ſolche Krümmungen geben, daß dieſe Abweichung ein Kleinſtes werde.

Bei zwei nahe an einander geſtellten Linſen kann man nach **Herſchel** (*Phil. transact.* 1821.) dieſe Abweichung ganz heben, bei einer gleichſeitigen Linſe iſt dieſe Abweichung größer als bei einer ungleichſeitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt iſt, als wenn das Gegentheil Statt findet, bei einer

Convexplan- oder bei einer Concavplanlinſe, deren Planſeite gegen das Auge gewendet wird, iſt die Abweichung faſt ſo klein, wie bei einer Linſe, wo ſie auf das Minimum gebracht iſt.

38. Linſen, welche auf einer Seite convex, auf der anderen eben ſind, können ſo angeſehen werden, als hätten ſie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel (B) $f = \infty$, ſo erhält man $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{g}$, und erſieht daraus, daß die für beiderſeits convexe Linſen aufgeſtellte Formel auch für planconvexe gilt, und daß der ganze Unterſchied im Werthe der Brennweite beſteht, der bei übrigens gleichen Umſtänden für jene immer kleiner als für dieſe iſt. Dieſelbe Formel gilt auch für concavconvexe Linſen, wenn man einen Radius negativ nimmt, und ſie in

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$$

umſtaltet. Iſt nun $f < g$, d. i. der Radius der Convexität kleiner als jener der Concavität, ſo fällt p poſitiv aus, und es gehört die Linſe in die Reihe der zwei vorigen, und kann mit ihnen Sammellinſe genannt werden, weil dieſe drei Gattungen, des poſitiven Werthes der Brennweite wegen, parallele Strahlen immer convergirend zu machen ſuchen. Sie heißen auch Brenngläſer, weil ſie das Sonnenlicht im Brennpunkte ſo concentriren, daß man daſelbſt Körper verbrennen kann. Tſchirnhauſen, der es in der Verfertigung der Brenngläſer ſehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Oeffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläſer macht man am leichteſten aus zwei Uhrſchalen, die man zuſammenſetzt und mit Waſſer oder Weingeiſt ausfüllt. Im Brennraume ſolcher Linſen können Metalle geſchmolzen und Erden verglaſet werden.

39. Für eine beiderſeits hohle Linſe wird ſowohl der eine als der andere Halbmeſſer negativ. Deßhalb gilt für ſie die Formel: $\frac{1}{p} = (n-1)\left(-\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$ oder $\frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$, das heißt es fällt p negativ aus. Setzt man in (C) $-p$ ſtatt p, ſo hat man

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \; . \; . \; (D).$$

Des negativen Werthes der Brennweite wegen werden Strahlen, welche auf eine ſolche Linſe parallel auffallen, durch die Brechung ſo divergirend, als kämen ſie von einem Punkte vor der Linſe her. Dieſer Punkt iſt wieder der Brennpunkt des Glaſes und ſeine Entfernung von der Linſe die Brennweite. Man nennt ihn nicht ſelten den imaginären Brennpunkt, weil ſich daſelbſt die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen aber poſitiven Werth hat, iſt α negativ und dem numeriſchen Werthe nach kleiner als a, d. i. divergirend auf dieſe Linſe auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Iſt a negativ, d. h. fal-

len die Strahlen convergirend auf; ſo wird, wenn man in (D) —a an die Stelle von a bringt,

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}.$$

Iſt $a > p$, ſo wird α negativ oder die Strahlen werden divergirend. Iſt $a = p$; ſo wird $\alpha = \infty$ oder die Strahlen werden parallel. Iſt endlich $a < p$, ſo wird α poſitiv oder die Strahlen bleiben convergirend, ſind es aber wegen $\alpha > a$ weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f = \infty$ ſetzt, und aus obiger Formel

$$\frac{1}{p} = -\frac{n-1}{g}$$

macht, ſo hat man ſie für eine **planconcave** Linſe eingerichtet. Eine ſolche Linſe bringt daher im Allgemeinen dieſelben Wirkungen hervor, wie eine beiderſeits concave. Iſt f poſitiv, g negativ, und überdieß $f > g$, ſo wird die Linſe eine **convexconcave**, und es zeigt die Formel

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right),$$

daß p negativ wird, demnach dieſe Linſe ebenfalls in die Klaſſe der zwei ſo eben betrachteten gehört. Alle drei zuſammen begreift man des negativen Werthes der Brennweite wegen unter dem Worte **Zerſtreuungslinſen**.

40. Die in 36 angegebene Gleichung (C) gilt auch für einen Punkt, der außer der Axe, aber in einer ſehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieſes zu beweiſen, ſey Ma (Fig. 191) die Axe der Linſe, S der leuchtende Punkt außer ihr, C das optiſche Centrum, Ss ein Strahl durch C, SB ein anderer Strahl, und Bs ſein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie BS, bis ſie die Axe in A ſchneidet, und eben ſo sB nach Belieben bis E, ſo iſt

$$BSs + BsS = BAD + BDA,$$

weil jede dieſer Summen gleich EBA iſt. Liegt nun S in einer ſehr geringen Entfernung von der Axe, und SB wenig gegen Ss geneigt; ſo kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt ſetzen, und BC auf SC ſenkrecht annehmen. Dieſem gemäß iſt

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BAD = \frac{BC}{AC},\ BDA = \frac{BC}{CD},$$

und daher $\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{AC} + \frac{BC}{CD}$ oder

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{AC} + \frac{1}{CD}.$$

Befände ſich der leuchtende Punkt in A, ſo wäre

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p},\ \text{mithin iſt auch}\ \frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}.$$

Es entſteht daher auch von einem leuchtenden Punkte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denſelben Umſtänden, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den

leuchtenden Punkt und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie.

41. Befindet ſich außerhalb der Brennweite einer Sammellinſe ein leuchtender Gegenſtand, wovon kein Punkt gar weit außer der Axe der Linſe liegt, ſo entſteht von jedem Punkte ein Bild hinter der Linſe, in einer durch ihn und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Punkte geben ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes. Wäre z. B. AB (Fig. 192) eine Sammellinſe, F ihr Brennpunkt, Ss ein Gegenſtand; ſo entſteht von S das Bild s', von s das Bild S', und die Bilder der zwiſchen S und s liegenden Punkte befinden ſich zwiſchen s' und S', ſo daß S's' das Bild von Ss vorſtellt. Iſt C der optiſche Mittelpunkt, ſo wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{Cs'}$. So lange alſo $CS > Cs'$, iſt auch $Ss > S's'$. Man ſieht hieraus, daß das Bild deſto größer ausfällt, je näher der Gegenſtand an den Brennpunkt rückt. Befindet ſich unter derſelben Vorausſetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenſtand innerhalb der Brennweite einer Sammellinſe; ſo entſteht nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein wirkliches durch Zuſammentreffen der Strahlen hervorgebrachtes Bild, welches man auf einer hinter der Linſe geſtellten Tafel auffangen kann, ſondern lediglich ein imaginäres, d. h. bloß für ein Auge, welches die aus der Linſe kommenden Strahlen aufnimmt, vorhandenes Bild vor der Linſe in einer größeren Entfernung, als die des Gegenſtandes iſt. Dieſes Bild erſcheint aufrecht und vergrößert. Iſt nämlich wieder AB (Fig. 193) eine Sammellinſe, FC ihre Axe, F der Brennpunkt, C der optiſche Mittelpunkt, Ss ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint das Bild von s in s', das von S in S', mithin das ganze Bild von Ss in S's', und kann, vorausgeſetzt daß S's' in der Sehweite eines Auges liegt, von demſelben wahrgenommen werden. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{Cs'}{Cs}$ iſt, ſo muß S's' immer größer als Ss erſcheinen, und zwar deſto mehr, je näher Ss im Vergleiche mit S's' der Linſe liegt, mithin je kleiner die Brennweite derſelben iſt.

42. Zerſtreuungslinſen geben von einem leuchtenden Gegenſtande, er mag ſich außerhalb oder innerhalb der Brennweite oder gar im Brennpunkte ſelbſt befinden, ein aufrechtes imaginäres Bild vor der Linſe, das ihr näher liegt, als der Gegenſtand, und deßhalb ſtets verjüngt erſcheint. Iſt AB (Fig. 194) eine Zerſtreuungslinſe, FC ihre Axe, C der optiſche Mittelpunkt, Ss ein leuchtender Gegenſtand, ſo erſcheint s in s', S in S' und Ss in S's'. Wegen $Cs' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ ſeyn.

43. Der Umſtand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit ſeiner Eigenſchaft, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, ſo innig zuſammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerſtreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß iſt, hat dieſe Zerſtreuung auf unſere Empfindung frei-

lich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtſtrahl von ſeiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da iſt dieſer Einfluß auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes des Gegenſtandes, von dem das Licht kömmt, ſehr groß. Es ſey S (Fig. 195) ein leuchtender Punkt, der weißes Licht auf die Sammellinſe AB ſendet. Dieſes Licht wird bei der Brechung zerſtreut, die brechbarſten Strahlen vereinigen ſich in v, die von mittlerer Brechbarkeit in f, die am wenigſten brechbaren in r, ſo daß alle zuſammen, abgeſehen von der Abweichung wegen der Geſtalt des Glaſes, ſich nicht mehr in einem Punkte vereinigen, ſondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreiſes vom Durchmeſſer CD liegen, den man Abweichungskreis nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Oeffnung nahe an den Brennpunkt einer Sammellinſe, die in einem verfinſterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; ſo werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die anderen durch die Oeffnung gehen, und auf einer Tafel aufgefangen, ein ſchönes Farbenſpiel gewähren. Noch herrlicher wird dieſe Erſcheinung, wenn man ſtatt der runden Oeffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 196 zeigt. Es gibt daher an Linſen außer der ſphäriſchen Abweichung auch noch eine wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man chromatiſche Abweichung nennt. Sie iſt in der Regel bei den gewöhnlichen Linſen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umſtand Statt fände, daß ſich das von einem Punkte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreiſes gleichmäßig vertheilt, ſondern im Mittelpunkte f am ſtärkſten iſt, und gegen den Umfang hin beſtändig abnimmt, ſo daß es am Umfange ſelbſt unendlichmal ſchwächer als im Mittelpunkte iſt. Nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunkt dieſes Kreiſes, alle äußerſten ſind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrührenden Undeutlichkeit durch den Halbmeſſer des Kreiſes, in welchem ſich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punkt vereinigt würden. Er heißt darum auch der Halbmeſſer der Undeutlichkeit. — Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit verſteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, ſondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen ſchwächer iſt, als auf der Seite der rothen, und weil man bei der Beſtimmung der Farbenzerſtreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, ſtets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinſtimmt.

44. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinſe, ſo werden alle von jedem einzelnen Punkte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weiſe geſammelt, die Kreiſe der an einander grenzenden Punkte decken ſich zum Theile (Fig.

186), und verurſachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die deſto größer iſt, je mehr die farbigen Strahlen zerſtreut werden, und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreiſe jedes Punktes vertheilt iſt.

45. Außer dieſer Undeutlichkeit der Bilder verurſacht die verſchiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewiſſe Farbenerſcheinungen. Iſt z. B. AB (Fig. 197) ein Gegenſtand, der weißes Licht auf die Sammellinſe CD ſendet und ſich außer ihrer Brennweite befindet, ſo entſteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, ſondern unzählige in verſchiedener Entfernung von der Linſe und daher auch von verſchiedener Größe, worunter ſechs verſchiedenfarbige unterſchieden werden können. Das von der Linſe entfernteſte, mithin größte, darunter iſt das rothe rr′, das kleinſte das violette vv′; die übrigen liegen zwiſchen beiden. Werden dieſe Bilder auf einer weißen Tafel aufgefangen oder mit freiem Auge betrachtet, ſo decken ſich dieſelben in der Mitte, und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht ſo am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor, und das ganze Bild erſcheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenſtand nach innen begrenzt wie ein Ring, ſo würde ſein Bild eine bläulich violette Einfaſſung haben, weil von dieſer Seite das violette und blaue Bild vorſteht. Erſchiene dem Auge O das Bild eines Gegenſtandes AB (Fig. 198) vor der Linſe CD, ſo müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier iſt das rothe Bild rr′ der Linſe am nächſten, das violette vv′ davon am meiſten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinſte, dieſes das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

46. Der nachtheilige Einfluß dieſer verſchiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl ſchon früh denkende Naturforſcher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein ſolches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen falſchen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit desſelben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo dieſe Abweichung nicht Statt zu finden ſchien; aber erſt Dollond (im Jahre 1757) war es vorbehalten, durch Klingenſtierna's Unterſuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen, und Linſen mit farbenloſen Bildern, achromatiſche Linſen, zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Weſen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Urſache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erſcheint, liegt darin, daß die verſchieden brechbaren Beſtandtheile desſelben mit einander parallel fortgehen und auch zuſammen ins Auge kommen; durch ein dreiſeitiges Prisma wird der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieſer Parallelismus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatiſches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müſſen, dieſen Parallelismus

wieder herzuſtellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma A (Fig. 199), welches den einfallenden weißen Strahl S a in farbige Theile zerlegt, wovon die äußerſten a b und a c ſind, ein zweites B, welches aus einem gleich ſtark brechenden, aber mehr zerſtreuenden Stoffe beſteht, ſo gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengeſetzte Lage haben; ſo wird vom Prisma der violette Strahl a c in einem größeren Verhältniſſe abgelenkt, als der rothe a b, und da die Ablenkung desſelben Strahles in beiden Prismen nach entgegengeſetzten Richtungen erfolgt, ſo wird es bei einem gewiſſen Verhältniſſe der brechenden Winkel zum Zerſtreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen c d und b e nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieſes wird aber natürlich nur bei einem beſtimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei dieſem achromatiſch ſeyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollſtändig ſeyn können, weil nur die äußerſten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond conſtruirte zuerſt ein achromatiſches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieſes einen Winkel von 19° hatte.

47. Nach denſelben Grundſätzen werden achromatiſche Linſen verfertiget. Es ſey A (Fig. 200) eine Converlinſe aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen ſo convergirend macht, daß ſich die rothen in r, die gelben in g und die violetten in v vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglaſes B wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn deſſen Brennweite größer iſt, als die von A, ſo vereiniget die Doppellinſe die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in g′. Iſt B von Flintglas, ſo bringt es wegen der größeren Farbenzerſtreuung die Vereinigungspunkte der rothen und violetten Strahlen näher an g′, als es der Fall bei Crownglas geweſen wäre, und bei einem gewiſſen Verhältniſſe zwiſchen den Brennweiten der Linſen und ihrer Farbenzerſtreuung fallen alle dieſe Punkte zuſammen. Dieſes ſetzt aber auch voraus, daß die Farbenzerſtreuung beim Flintglaſe für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglaſe in demſelben Verhältniſſe ſtehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man ſich gewöhnlich bei achromatiſchen Linſen, die Vereinigungspunkte der äußerſten Stralen und derjenigen zuſammenzubringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichſam als die mittleren anzuſehen ſind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus, und muß daher oft zur beſſeren Erzielung des beabſichtigten Zweckes eine dreifache Linſe conſtruiren, welche aus zwei converen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinſe beſteht, und wo gleichſam die aus Flintglas und Crownglas beſtehende Doppellinſe zum Achromatiſiren der zweiten Converlinſe gebraucht wird. Fallen auf eine achromatiſche Linſe parallele Strahlen auf, ſo wird der convere Beſtandtheil gegen das Object gewendet; treffen es hingegen ſtark divergirende Strahlen,

ſo kehrt man den concaven Theil gegen das Object. Gewöhnlich ſtellt man die Flintglaslinſe hart an die Crownglaslinſe oder kittet gar beide zuſammen; da müſſen natürlich die Linſen gleiche Oeffnungen bekommen. Erſt in der neueſten Zeit hat man beide Linſen bis auf $^1/_3$—$^1/_2$ der Brennweite des Crownglaſes aus einander gerückt, und dadurch den Vortheil erlangt, den ganzen, auch von einer großen Crownglaslinſe kommenden Lichtkegel mit einem viel kleineren Flintglaſe auffangen und achromatiſiren zu können. Die Conſtruction ſolcher Linſen, die man dialytiſche nennt, hat zuerſt Barlow angedeutet, Rogers hat den gemachten Vorſchlag abgeändert, Littrow und Stampfer haben die mathematiſche Theorie geliefert, und Plößl hat ſie zuerſt ausgeführt. (Barlow in *Phil. Transact.* 1829, Rogers in Zeitſch. 5. 120, Jahrb. des polyt. Inſtit. 14. 108, Littrow in Zeitſch. 4. 255, Jacquin ebend. n. F. 3. 57. Stampfer in Jahrb. des polyt. Inſt. Bd. 14, 108.) Statt Flintglas hat man mehrere Flüſſigkeiten in Vorſchlag gebracht, weil es ſchwer hält, große und doch homogene Flintglasſtücke zu erhalten. Schwefelkohlenſtoff ſcheint ſich am beſten hierzu zu eignen, wiewohl Flüſſigkeiten überhaupt gegen ſich haben, daß ſie ſo leicht verdünſten und ſich ungleich erwärmt in Schichten von verſchiedener Dichte abſondern.

Sechstes Kapitel.

Erleuchtung und Abſorption des Lichtes.

48. Ein leuchtender Punkt ſendet ringsum Strahlen von gleicher Intenſität aus. Denkt man ſich einen ſolchen Punkt als Centrum einer Kugelfläche, ſo fällt jeder ausgehende Strahl ſenkrecht auf dieſe Fläche auf und erleuchtet ſie, und gleiche Flächen werden offenbar von gleichen Lichtmengen, d. h. von gleich dichtem Lichte getroffen. Die Lichtmengen, welche daher zwei ungleich große Stücke einer ſolchen Fläche treffen, verhalten ſich offenbar direct wie die Leuchtkraft (der Glanz) der leuchtenden Punkte und die Größe der betreffenden Flächen. Denkt man ſich den Halbmeſſer der Kugelfläche größer, ſo entſteht eine neue Kugelfläche, die im Verhältniſſe des Quadrates des Halbmeſſers größer iſt, ohne doch mehr Licht zu erhalten, als die erſtere. Daher ſteht die Dichte des Lichtes, welches ein leuchtender Punkt auf Stücke von Kugelflächen ſendet, bei demſelben Glanze der Lichtquelle im verkehrten Verhältniſſe mit dem Quadrate der Entfernung dieſer Fläche von der Lichtquelle. Iſt die erleuchtete Fläche nicht eine Kugelfläche, in deren Mittelpunkt ſich der leuchtende Punkt befindet, ſo kann man die Strahlen nur auf ein ſehr kleines Stück (ein Element) derſelben für ſenkrecht annehmen, und die Beleuchtung nach obiger Regel berechnen, die anderen werden von den Lichtſtrahlen ſchief getroffen und nach einem anderen Geſetze erleuchtet. Man nimmt allgemein an, daß die Erleuchtung bei übrigens gleichen Umſtänden ſo abnimmt, wie der Sinus des Winkels wächſt, unter welchem das

Licht einfällt. Hat man es endlich nicht mit einem leuchtenden Punkte, ſondern mit einem leuchtenden Körper oder mit einer Licht ausſendenden Fläche zu thun, ſo richtet ſich die einer Fläche dadurch zu Theil gewordene Erleuchtung auch noch nach der Menge der leuchtenden Punkte, mithin nach der Größe des leuchtenden Körpers oder der leuchtenden Fläche, und muß für jeden Punkt eigens berechnet werden; denn es haben nicht alle Strahlen einerlei Intenſität, ſondern die ſchief ausfahrenden ſind in dem Verhältniſſe weniger intenſiv als der Sinus des Ausſtrahlungswinkels größer iſt. Demnach ſteht die Erleuchtung einer Fläche im geraden Verhältniſſe mit dem Glanze und der Größe der leuchtenden Fläche (oder des jener Fläche zugekehrten Theiles des leuchtenden Körpers, wenn derſelbe undurchſichtig oder des Körpers ſelbſt, wenn er durchſichtig iſt), im verkehrten mit dem Sinus des Ausſtrahlungs- und Einfallswinkels und mit dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der genannten Fläche.

49. Das Licht, welches eine dunkle Fläche trifft, erleidet auf derſelben mehrere Modificationen. Ein Theil desſelben wird nämlich reflectirt, ein anderer dringt in den Körper ein, und ſowohl der reflectirte als der eingedrungene verhält ſich wieder auf verſchiedene Art. Man unterſcheidet bekanntlich beim zurückgeworfenen Lichte das regelmäßig reflectirte, welches uns das Bild des leuchtenden Körpers zeigt, von dem zerſtreut zurückgeworfenen, wodurch der reflectirende Körper ſelbſt ſichtbar wird. Der Antheil an letzterem iſt deſto größer, je polirter der reflectirende Körper und je größer der Einfallswinkel des Lichtes iſt. Daher kommt es, daß manche Körper, die bei faſt ſenkrecht auffallendem Lichte keine Spur von Glanz zeigen, ſpiegeln, wenn man ſie ſchief anſieht, und daß ein Körper durch bloßes Glätten ſeiner Oberfläche zum Spiegel wird. Manche Körper reflectiren, wenn ihre Oberfläche rauh iſt, eine ſehr geringe Menge Licht, wie es nach Brewſter an einem Rauchtopaſe der Fall war, der an ſeinen Bruchflächen ganz ſchwarz erſchien, ungeachtet er an den natürlichen Flächen viel Licht reflectirte. Die Menge des reflectirten Lichtes ſteht mit dem Brechungsexponenten der zwei an einander grenzenden Mittel in Zuſammenhang, nämlich des reflectirenden, und desjenigen, durch welches das Licht dahin gelangt. Das von einem Körper zerſtreut reflectirte Licht geht von jedem Punkte desſelben nach allen Richtungen aus und macht ihn ſichtbar, kann aber auch, wenn es von dieſem wieder zurückgeworfen wird, andere Körper wie jeder leuchtende erleuchten. Die Größe dieſer Erleuchtung wird von denſelben Geſetzen beherrſcht wie die von einem leuchtenden Körper herrührende.

Nach Bouguer wird von einem Lichtſtrahle, der ſenkrecht von der Luft auf Waſſer fällt, 0.018, von einem, der eben ſo von Luft auf Glas kommt, 0.025 reflectirt. Nach Herſchel reflectirt ein Metallſpiegel 0.673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0.483; 0.367; 0.279; 0.210; 0.165; 0.136; 0.115; 0.98. Schwarzer Marmor re-

flectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0.6; 0.156; 0.051; 0.023. Nach *Potter* nimmt das Reflexionsvermögen friſch polirter Spiegel mit der Zeit raſch ab. (Pogg. Ann. 22. 606.)

50. Auch das in einen Körper eingedrungene Licht verhält ſich auf mehrfache Weiſe: In denjenigen Körpern nämlich, welche wir undurchſichtige nennen, wird alles nicht reflectirte Licht verſchluckt (abſorbirt), in den durchſichtigen geſchieht dieſes nur mit einem Theile desſelben, der andere geht durch den Körper hindurch, erleidet aber auf dem Wege ununterbrochene Zerſtreuungen, und der Reſt verläßt den Körper wieder nach einer den Brechungsgeſetzen entſprechenden Richtung. Kein Körper nimmt alles auf ihn fallende Licht auf; denn an der Grenze zweier Mittel muß jeder Strahl in zwei Theile getheilt werden, wovon einer reflectirt wird. Wollte man demnach nur ſolche Körper vollkommen durchſichtig nennen, die alles auffallende Licht aufnehmen und durchleiten, ſo wäre ein ſolcher Körper etwas Unmögliches. Wohl iſt aber ein Körper denkbar, der den einmal aufgenommenen Antheil des auf ihn gefallenen Lichtes ungeſchwächt bis zur anderen Grenze fortleitet, und ein ſolcher heißt eigentlich *vollkommen durchſichtig*. Aber es ſcheint nicht einmal einen ſolchen Körper in der Natur zu geben; denn das Licht wird auf ſeinem Wege in jedem Körper durch Zerſtreuung geſchwächt, woran der Mangel an Continuität und Homogeneität der Maſſe ſchuld ſeyn mag. Dieſes zeigt z. B. folgender Verſuch: Man leite einen intenſiven Lichtſtrahl AB (Fig. 201) in ein verfinſtertes Zimmer, und laſſe ihn recht ſchief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da ſieht man den reflectirten Strahl deutlich im Inneren des Glaſes den Weg BFCGDKEI nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in C, D, E, F, G, K, I in die Luft austreten. Der Glaskörper ſelbſt erſcheint in allen Punkten des Innern ſichtbar, zum Beweiſe, daß auch faſt an jeder Stelle eine Zerſtreuung des Lichtes eintrete, und ſich der an den äußeren Grenzen bemerkbare Vorgang im Innern unzähligemal wiederhole. Eine natürliche Folge dieſes Verhaltens iſt, daß ſelbſt bei dem durchſichtigſten Mittel der reflectirte und der durchgelaſſene Strahl zuſammengenommen eine geringere Intenſität hat als der einfallende, und daß der Unterſchied deſto größer ausfällt, je größer der Weg iſt, den das Licht im Innern eines Körpers zurücklegen muß. Denkt man ſich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intenſität des eindringenden Lichtes I, und ſtellt ſich vor, in jeder ſolcher Schichte werde der Theil μI desſelben abſorbirt; ſo hat offenbar das Licht in der erſten Schichte die Intenſität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intenſität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (m^{ten}) die Intenſität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtſtärke in einem geometriſchen Verhältniſſe ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetiſchem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, beſonders von deſſen Dichte, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab, und $1-\mu$ gibt das Maß der *ſpecifiſchen Durchſichtigkeit* der Körper an.

Nach Lambert wird von einer grünlichen Glasplatte bei einem Einfallswinkel von 41° $^{3}/_{17}$ des einfallenden Lichtes abſorbirt. Seewaſſer abſorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht, und ſelbſt die Luft würde bei einer Höhe von 518385 Toiſen alles Sonnenlicht abſorbiren. Dieſelbe läßt nach Lambert beim ſenkrechten Einfallen 0.5889 durch. Ein Stück gemeinen Fenſterglaſes läßt die Hälfte, 16 ſolche Stücke, die zuſammen 9½ L. dick ſind, laſſen $^{1}/_{247}$ und 76—80 ſolche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch. Setzt man μ für Luft = 1, ſo iſt ſein Werth für Meerwaſſer 5.651 oder Meerwaſſer verſchluckt 5 651 mal mehr Licht als Luft. Berückſichtigt man, daß das Meerwaſſer über 1000mal dichter als Luft iſt, ſo ſieht man, daß ſeine abſolute Durchſichtigkeit faſt 5000mal kleiner ſey als jene der Luft. Aus dem Geſagten erkennt man auch den großen Einfluß der Homogeneität der Maſſe auf ihre Durchſichtigkeit, und kann ſich viele Erſcheinungen erklären, z. B. warum Papier durchſichtiger wird, wenn man die in ſeinen Poren enthaltene Luft durch Oehl erſetzt (es öhlet), warum die Luft deſto durchſichtiger iſt, je mehr Waſſerdünſte ſie enthält, warum alle Gaſe Durchſichtigkeit beſitzen, der Hydrophan an Durchſichtigkeit dem Glaſe gleich kommt, wenn man die Luft in ſeinen Zwiſchenräumen durch Waſſer erſetzt; ein nicht polirtes Glasſtück völlig durchſichtig erſcheint, wenn man es mit Waſſer oder noch beſſer mit Terpentinöhl benetzt, deſſen Brechungsvermögen dem des Glaſes nahe gleichkommt. Man kann dieſen Umſtand ſogar zur Beſtimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieſer Größe entweder zu klein iſt oder zu wenig durchſichtig erſcheint, anwenden, indem man nur eine Flüſſigkeit auszumitteln braucht, in welcher derſelbe völlig durchſichtig erſcheint, das Brechungsvermögen dieſer Flüſſigkeit iſt dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieſes Mittel erkennt man auch leicht die kleinſten, die Durchſichtigkeit ſtörenden Fehler im Innern ungeſchliffener Edelſteine. Zwei Glasplatten ſind durchſichtiger, wenn ſich Waſſer als wenn ſich Luft zwiſchen ihnen befindet, am durchſichtigſten aber, wenn man ſie mit einem aus Guajacharz und Canadabalſam beſtehenden Firniß zuſammenkittet. Glas verliert ſeine Durchſichtigkeit durch Zerſtoßen (Mengen der Glastheile mit Luft).

51. Bisher ſind nur die Fälle betrachtet worden, wo jede Gattung farbiger Strahlen im gleichen Verhältniſſe abſorbirt wurde, und daher der Körper weiße Strahlen reflectirte oder durchließ, wenn er vom weißen Lichte, blaue, wenn er vom blauen ꝛc. beleuchtet wurde. Es gibt aber unzählige Fälle, wo das auffallende Licht in farbige Theile zerlegt wird, und einige derſelben derſelben durchgelaſſen, andere reflectirt werden, ja da mit der Brechung ſtets eine Farbenzerſtreuung vorkommt und zwei Mittel von ungleicher Brechkraft meiſtens auch ein ungleiches Farbenzerſtreuungsvermögen beſitzen, ſo muß bei jedem Wechſel des Mittels das durchgelaſſene und reflectirte Licht eine Farbenänderung erleiden, doch iſt dieſe oft ſo gering, daß ſie unſerem Auge entgeht. So reflectirt z. B. Gold von dem auffallenden weißen Lichte die gelben Strahlen und läßt die grünen in ſeine Maſſe eindringen, darum erſcheint ein ſehr dünnes Goldplättchen im reflectirten Lichte gelb, im durchgelaſſenen grün; eben ſo reflectirt Meerwaſſer die grünen Strahlen und nimmt die rothen auf. Die in die Maſſe eines Körpers eindringenden Strahlen werden häufig in derſelben ab-

ſorbirt, oft aber auch durchgelaſſen oder an der zweiten Grenze wieder gegen die erſte reflectirt und ſo ins erſte Mittel zurückgeſendet. Nach den von Herſchel gemachten Erfahrungen werden verſchiedenfarbige Strahlen in demſelben Mittel immer nach dem Geſetze abſorbirt, daß die Menge des durchgehenden Lichtes in einem geometriſchen Verhältniſſe abnimmt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetiſchen Verhältniſſe zunimmt, allein der Exponent $1 - \mu$ des geometriſchen Verhältniſſes (50) hat für jede Strahlengattung einen anderen Werth. In dieſem Geſetze liegt der Schlüſſel zur Erklärung aller Farbenerſcheinungen an Körpern, welche von gewöhnlichem Lichte getroffen werden. (Von den Farbenerſcheinungen, die ihr Entſtehen beſonderen Modificationen des Lichtes verdanken, wird ſpäter die Rede ſeyn.) Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlaſſen, für welche der Werth von μ am kleinſten iſt, und die übrigen abſorbiren oder reflectiren. Kann man ihn ſo dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, ſo wird er anders gefärbt erſcheinen. Von der Art iſt z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte ſmaragdgrün, in einer dicken hingegen blutroth ausſieht. Man darf aber hierbei nicht vergeſſen, daß Strahlen, deren Intenſität unter eine gewiſſe Größe herabſinkt, keinen Eindruck mehr in unſerem Auge hervorbringen. Die Verſchiedenheit der Farbe leuchtender Körper hängt wohl hauptſächlich von der Natur derſelben ab, da ſie aber das Licht nicht bloß von ihrer Oberfläche ausſtrömen laſſen, ſondern aus ihrem Innern, ſo muß auch die abſorbirende Kraft der Schichte, durch welche die Strahlen gehen müſſen, darauf Einfluß haben.

Geſetzt, es ſey der Werth von μ bei einem Körper von der Art, daß $1 - \mu$ für das äußerſte Roth $= 0.9$, für gewöhnliches Roth, für Orange und Gelb $= 0.1$, für Blau, Dunkelblau und Violet $= 0.1$ beträgt, und daß in 10,000 weißen Strahlen deren 200 vom äußerſten Roth, 1300 rothe und orange, 3000 gelbe, 2800 grüne, 1200 lichtblaue, 1000 dunkelblaue und 500 violette vorkommen; ſo bleiben von dieſen noch übrig:

	nach der erſten,	zweiten,	dritten,	vierten Schichte = 1
Aeußerſte Rothe . .	180	162	146	131
Rothe und Orange .	130	13	1	0
Gelbe	300	30	3	0
Grüne	1400	700	350	175
Blaue	120	12	1	0
Dunkelblaue . . .	100	10	1	0
Violette	50	5	0	0

und dieſer Körper erſcheint demnach in der Dicke = 1 grün, in der Dicke = 2 weniger grün, in der 3ten miſcht ſich roth dazu, und nach der 4ten bleibt nur eine dunkle rothgrüne übrig. Aus der verſchiedenen Miſchung der einzelnen Farben erklärt man ſich leicht die ungeheure Mannigfaltigkeit der Färbung, und begreift, wie ſchon die Römer bloß bei ihren Moſaikarbeiten 30,000 verſchiedene Farben haben konnten.

52. Es iſt Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorſtellung des Weißen läßt ſich ſo wenig als die einer anderen Farbe durch eine Beſchreibung beibringen; dem Phyſiker iſt aber be-

kannt, daß weißes Licht aus allen farbigen, in einem gewiſſen Verhältniſſe gemiſchten Strahlen beſtehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältniſſe reflectirt, wie ſie im weißen Lichte vorkommen, und ſeine Weiße heißt abſolut, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältniſſe zerſtreut zurückwirft. Dieſe abſolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem ſie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So iſt die Weiße $= 1/8$, wenn $1/8$ der auffallenden Strahlen zerſtreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßſtab der Weiße macht, eben ſo kann man das in demſelben enthaltene rothe Licht zum Maßſtabe der Röthe, das darin befindliche blaue zum Maßſtabe der Bläue ꝛc. machen, und die Röthe, Bläue ꝛc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerſtreut zurückwirft. Die Beſtimmung dieſer Zahl geſchieht durch beſondere Verſuche.

So z. B. beſtimmt Lambert die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desſelben auf ein ſchwarzes, von der Sonne ſtark beſchienenes Papier legt, und neben dieſelbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge anſieht, hält er über das weiße Papier ein dreiſeitiges Glasprisma, richtet es auf dieſes Papier, und wendet es ſo lange, bis der durch dasſelbe erſcheinende rothe Streifen auf dem Papiere ſo intenſiv roth erſcheint, wie das Siegellack. Es iſt alſo hier die Röthe des Siegellackes der Weiße des Papieres gleich; wegen der unvollkommenen Durchſichtigkeit des Prisma's iſt aber letztere um ſo viel größer, als das Prisma Licht abſorbirt oder zerſtreut. Iſt nun die Weiße des Papiers aus anderen Verſuchen bekannt, ſo iſt auch die Röthe des Siegellackes gefunden. Die ſogenannten farbigen Körper reflectiren nicht bloß das Licht von jener Farbe, unter der ſie erſcheinen, ſondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße ꝛc. eines grünen, gelben, blauen Körpers ſprechen, und ſie ſogar durch Verſuche, wie der vorhergehende war, beſtimmen.

Nach Lambert's Verſuchen iſt die Weiße eines Blattes ſehr weißen Papiers $= 0.154$, des Fließpapiers kaum $= 0{,}0835$, des Kremſerweißes $= 0.4230$; die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers $= 0.293$, die Röthe des mit Zinnober gefärbten $= 0.336$.

53. Theils zur ſtrengen Begründung der vorhergehenden photometriſchen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehörigen intereſſanten Fragen, muß man die Intenſitäten ſowohl des directen als des von Körpern auf was immer für eine Weiſe modificirten Lichtes meſſen können. In dieſer Beziehung treten aber ganz beſondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die zu einem Maßſtabe für anzuſtellende Lichtmeſſungen nöthige Unveränderlichkeit beſitzt, und ſind daher gezwungen, jedesmal, wenn ſolche Unterſuchungen anzuſtellen ſind, irgend ein für die Dauer desſelben möglichſt gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Beſtimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim ge-

ſtellt, und man hat, wenn man davon die chemiſchen und erwärmenden Wirkungen des Lichtes ausnimmt, die wenigſtens vor der Hand noch nicht zu einem Maßſtab für das Licht geeignet ſind, keine Scale, an der ſich dieſer Grad abnehmen ließe. Das Auge iſt aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwiſchen der Stärke zweier leuchtenden Körper beſtimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei den photometriſchen Beſtimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtſtärken zur Gleichheit bringen, und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es ſo ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverſchiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere oder die mit einem gemeinſchaftlichen Maße gemeſſen werden ſollen, ſchlechterdings nicht vorhanden ſeyn ſoll. Die Inſtrumente, welche zur Vergleichung verſchiedener Lichtſtärken dienen, heißen **Photometer**. Es gibt deren mehrere, darunter aber kein einziges, über deſſen Werth die Phyſiker einerlei Meinung wären. Alle beruhen darauf, daß man die Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen entweder durch Veränderung ihrer Entfernung von der zu beleuchtenden Fläche (**Rumford's**, **Bouguer's**, **Wollaſtons**, **Ritchie's** Photometer) oder durch Abſorption in Mitteln von verſchiedener Dicke (**Lampadius**, **Maiſtre's** Photometer), oder durch eine Anzahl von Reflexionen (**Quetelet's** Photometer), oder durch Verwandlung ihrer Bilder in Lichtflächen (**Steinheil's** Photometer), oder durch ſchnell auf einander folgende Unterbrechungen ihrer Einwirkung auf das Auge (**Talbot's** Photometer) zur Gleichheit bringt, und hieraus dann die eigentlichen Lichtſtärken berechnet. (Zeitſch. 1. 72; 6. 466; Pogg. Ann. 29. 186, 490; 34, 644; 35, 457.)

Eines der einfachſten iſt das **Rumford'ſche**. Es beruht auf dem Grundſatze, daß der Schatten eines Körpers deſto dunkler erſcheint, je ſtärker ſeine Umgebung erleuchtet iſt, und beſteht im Weſentlichen aus einer vertical ſtehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa ½ Zoll dicker cylindriſcher Stab ſteht. Will man den Glanz zweier leuchtenden Körper (für welche dieſes Inſtrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, ſo ſtellt man ſie ſo hinter den Stab, daß derſelbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle ſo weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erſcheinen. In dieſem Falle verhalten ſich die Lichtſtärken wie die Quadrate der Diſtanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Nach **Wollaſton** wird das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen, indem man erſteres auf eine mit Queckſilber gefüllte Thermometerkugel fallen läßt, das durch Reflexion entſtandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinſe mit dem anderen Auge anſieht, endlich die Entfernungen dahin abändert, bis beide Bilder gleich hell erſcheinen, und dann aus dem Halbmeſſer der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtſtärke berechnet. Iſt r der Halbmeſſer der Thermometerkugel, d ihre

Entfernung vom Auge, ſo iſt $\frac{r}{2d}$ der ſcheinbare Halbmeſſer des Sonnenbildes in dem kleinen Convexſpiegel und der Lichteindruck des Bildes dem Ausdrucke $\frac{r^2}{4d^2}$ proportionirt, vorausgeſetzt, daß der Sonnenhalbmeſſer ſelbſt = 1 geſetzt wird. Befindet ſich die Lichtflamme in der Entfernung δ vom Auge, ſo iſt der Glanz derſelben dem Ausdrucke $\frac{1}{\delta^2}$ proportionirt. Iſt dieſe Lichtſtärke der erſteren gleich, ſo verhält ſich die Leuchtſtärke der Sonne zu jener der Kerzenflamme wie $1 : \frac{r^2}{4d^2\delta^2}$. Es iſt klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verſchiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältniſſes jener Körper unter einander gelangen kann. (Zeitſch. 6. 466.) Ritchie's Photometer beſteht aus einem Kaſten (Fig. 202), der beiderſeits offen und inwendig geſchwärzt iſt, und worin ſich zwei glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kaſtens um 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, denen gegenüber eine Oeffnung E G angebracht iſt. Beim Gebrauche ſtellt man die zwei zu vergleichenden Körper den zwei Papierflächen im Kaſten gegenüber, ſo daß letztere durch erſtere Licht erhalten, und ändert dieſe Entfernung ſo lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden laſſen; in dieſem Falle muß ſich der Glanz der Lichtquellen nahe wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieſes Inſtrument geſtattet eine große Präciſion, beſonders wenn man zur genauen Beſtimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung E G eine Convexlinſe anbringt, und durch ſie auf jene Flächen hinſieht. (Zeitſch. 1. 72.) Lampadius mißt die Lichtſtärke der Körper durch die Anzahl von Hornſcheiben, die gerade hinreicht, um alles Licht eines ſolchen zu abſorbiren. Maiſtre bedient ſich hiezu eines aus einem weißen und einem blauen Glasprisma zuſammengeſetzten Parallelepipeds, das mit dem dünnſten Theile des weißen Prisma's vor das Objectiv eines Fernrohrs gebracht, hierauf das blaue Prisma ſo lange verſchoben wird, bis das dadurch geſehene Bild des helleren Körpers, dem des minder helleren mit freiem Auge angeſehenen gleich iſt. Quetelet's Photometer beſteht aus einer ebenen Glasplatte mit vollkommen parallelen Wänden, die mit rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie belegt ſind, welche eine ſolche Anordnung haben, daß ſie die Platte in Planſpiegel verwandeln, deren einer das einfallende Licht dem anderen durch Reflexion zuſendet, bis es gänzlich verſchwindet. Steinheil's Photometer hat die ſpecielle Beſtimmung die relativen Helligkeiten der Geſtirne zu meſſen, und beruht auf zweckmäßigem Gebrauche eines dazu beſonders vorgerichteten Fernrohres. Talbot's Photometer gründet ſich darauf, daß die Helligkeit eines leuchtenden Gegenſtandes, den man durch eine mit gleichen und gleichgeſtellten ſectorenförmigen Löchern verſehene ſchnell rotirende Scheibe betrachtet, in dem Verhältniß des (auf einem beſtimmten mit der Scheibe concentriſchen Kreiſe gemeſſenen) Abſtandes zweier benachbarten Oeffnungen zur Breite einer Oeffnung, verringert wird. Auch ſpäter zu erklärende Eigenſchaften des ſogenannten polariſirten Lichtes laſſen ſich zu photometriſchen Zwecken benützen.

Nach Wollaſton ſcheint das Sonnenlicht ſo ſtark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge ſenden. Das

Licht des Sirius iſt 20,000 Millionenmal ſchwächer als das Sonnenlicht, und neunmal ſtärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $^1/_{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 Fuß Entfernung oder $^1/_{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei ſeinen verſchiedenen Phaſen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0.0000	70	0.3366	130	0.5747
10	0.0494	80	0.3814	140	0.6043
20	0.0986	90	0.4244	150	0.6294
30	0.1475	100	0.4657	160	0.6490
40	0.1959	110	0.5048	170	0.6619
50	0.2437	120	0.5413	180	0.6666
60	0.2907				

Die Einheit dieſer Zahlenangaben iſt die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenſtrahlen ſenkrecht getroffenen Stelle. Die mittlere Helligkeit der Planeten in der Oppoſition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6.6735	Mars	0.4307
Venus	1.9113	Jupiter	0.0370
Erde	1.0000	Saturn	0.0110

54. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge beſtimmen, die ein durchſichtiger Körper reflectirt oder abſorbirt; ſo darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich conſtanten Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln ſuchen, wenn ſie ihr Licht unmittelbar auf den photometriſchen Apparat ſenden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch dieſen Körper gegangene Licht nun ſchwächer erſcheint als vorhin, ſo viel kommt auf Rechnung der Abſorption und Reflexion dieſes Körpers. Wäre z. B. die Flamme einer Kerze dreimal ſtärker befunden worden als die einer anderen, aber nur $2^1/_2$mal ſtärker als dieſelbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen iſt; ſo beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und abſorbirten Strahlen $^1/_6$ der auffallenden. Auf ähnliche Weiſe kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer beſtimmen. Das Hauptwerk über Photometrie iſt: *Lamberti Photometria. Aug. Vind.* 1760. Ferner *Bouguer sur la gradation de la lumière.* Paris 1760.

Siebentes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

55. Durch den Sinn des Geſichtes gelangen wir zur Vorſtellung der Größe, Entfernung, Geſtalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieſes Sinnes iſt das Auge. Der für den Phyſiker wichtigſte Theil des Auges iſt der Augapfel. Dieſer befindet ſich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verſchiedenen Seiten bewegt werden kann, und iſt durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren

zu ſtarken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geſchützt. Der Augapfel (Fig. 203) hat nahe die Geſtalt einer Kugel, und beſteht im Weſentlichen aus Häuten und ſogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerſte, dicke, feſte, weiße, elaſtiſche Haut a heißt die harte Haut (tunica sclerotica), ihr vorderer durchſichtiger, mehr convexer Theil b Hornhaut (cornea). Unter der harten Haut liegt die Aderhaut (tunica choroidea). Dieſe beſteht meiſtens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt ſich aber vorne, wo die Hornhaut anfängt, von derſelben, und geht in die Regenbogenhaut (iris) über. Dieſe hat in der Mitte eine Oeffnung, das Lichtloch c (pupilla), welche ſich erweitern und zuſammenziehen kann. Endlich befindet ſich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut (retina), welche eine Ausbreitung des Sehnerves d iſt. Das Innere des Augapfels iſt durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication ſtehen. In dieſen Kammern befinden ſich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwiſchen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerſt durchſichtige, gallertartige Subſtanz. In einer Vertiefung derſelben gegen vorne liegt die zwar beiderſeits, aber ungleichconvexe, nach Krauſe's vielen und ſorgfältigen Meſſungen vorne elliptiſch, rückwärts paraboliſch gekrümmte Kryſtalllinſe e, die aus zarten Platten beſteht, welche inwendig einen dichteren Kern in ſich ſchließen; ihre convexere Seite iſt gegen die Netzhaut gekehrt. Sie befindet ſich in einer durchſichtigen Kapſel, welche nach Th. Smith am Umfange mit einem Muskelbündel verſehen iſt. Zwiſchen der Linſe und der Hornhaut iſt endlich eine waſſerhelle, etwas ſalzige Flüſſigkeit, die ſogenannte wäſſerige Feuchtigkeit, enthalten. Die Augen vieler Thiere, wie z. B. der meiſten Säugethiere, der Vögel, ſind denen des Menſchen ſehr ähnlich. Fiſche haben eine faſt kugelförmige Kryſtalllinſe, nur wenig Glasfeuchtigkeit und faſt keine Waſſerfeuchtigkeit. Inſecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verſchiedener Anzahl vor. (Anatomiſche und phyſiologiſche Darſtellung des menſchlichen Auges von F. Müller. Wien, 1819. Ueber die Dimenſionen des Auges und ſeiner Theile ſ. Krauſe in Pogg. Ann. 39. 529.)

56. Fällt von einem leuchtenden Punkte ein Lichtkegel ins Auge, ſo dringen die auf die Pupille fallenden Strahlen ein und vereinigen ſich in einem Punkte, nachdem ſie bei ihrem Durchgange durch die Feuchtigkeiten des Auges gebrochen worden ſind. Indem dieſes von jedem Punkte gilt, ſo entſteht von einem leuchtenden Gegenſtande ein kleines, verkehrtes Bild, durch welches der Sehnerv afficirt wird. Wie von da weiter das Sehen vor ſich gehe, wäre eine für den Phyſiker fremdartige Unterſuchung, wenn ſie auch innerhalb der Grenzen des menſchlichen Wiſſens läge.

57. Damit dieſes Bild auf die gehörige Weiſe wahrgenommen werden könne, muß es deutlich, hinreichend hell ſeyn, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Größe ha-

ben und lange genug anhalten. — Zur Erzielung der nöthigen Deutlichkeit iſt das Auge ſo eingerichtet, daß die Bilder von der ſphäriſchen Abweichung frei ſind. Zur Aufhebung dieſer Abweichung trägt vorzüglich die Form der Kryſtalllinſe, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; von der chromatiſchen Abweichung iſt das Bild im Auge nicht frei, und die brechenden und zerſtreuenden Kräfte der Kryſtall- und Glasfeuchtigkeit ſind von der Art, daß ſie eine chromatiſche Compenſation unmöglich machen; auch iſt der vollkommene Achromatismus des Auges nicht nothwendig, da man ohnehin nur die in der Axe oder nahe an ihr liegenden Objecte deutlich ſieht. (Gilb. Ann. 56. 301.) Um dem Bilde die nöthige Helligkeit zu verſchaffen, muß der ihm entſprechende Gegenſtand die gehörige Lichtmenge ins Auge ſenden; bei zu ſtarkem Lichte zieht ſich die Pupille zuſammen, und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu ſchwachem erweitert ſie ſich, und nimmt einen größeren Lichtkegel auf, doch hat dieſes ſeine Grenzen, und man kann weder bei zu ſtarker noch bei zu ſchwacher Beleuchtung hell ſehen, aber dieſe Grenzen liegen ſehr weit aus einander. Wenn das Licht von ſeinem Mittel nicht geſchwächt würde, ſo müßten leuchtende und beleuchtete Körper in jeder Entfernung gleich hell erſcheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Punkte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen phyſiſchen Punkte rücken einander in demſelben Maße näher, und das ganze Bild des Objectes wird in demſelben Verhältniſſe kleiner. Die Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachſender Entfernung rührt daher bloß von der abſorbirenden Kraft des Mittels her.

Man kann beim Lichte einer Wachskerze und bei dem vielmal ſtärkeren Sonnenlichte, ja ſogar bei dem viel ſchwächeren Lichte des Vollmondes leſen. Augen, die an ſparſames Licht gewöhnt ſind, ſehen ſelbſt dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte Wandelnden dunkle Nacht iſt. Ein mechaniſcher Druck auf das Auge ſteigert deſſen Empfindlichkeit für das Licht, und ſcheint in vielen Fällen ſelbſt eine Lichtempfindung hervorzubringen, wie die von Purkinje und Quetelet beobachteten Farbenerſcheinungen zeigen, welche man wahrnimmt, wenn man ein oder beide geſchloſſene Augen drückt. Geſchieht letzteres nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo ergeben ſich ziemlich complicirte Viſionen. (Pogg. Ann. 31. 494.) Eigenthümliche Erſcheinungen bemerkt man, wenn die Augen, nachdem ſie im Dunkeln waren, plötzlich von ſtarkem durch die Augenlieder eindringenden Lichte getroffen werden. Sie wurden zuerſt von Miß M. Griffiths beſchrieben. (Pogg. Ann. 3. 477.) Die von Peclet und nach ihm von Aimé unterſuchten zahlreichen ſchwarzen Striche, die man bei dem Hindurchſehen durch eine enge Spalte bemerkt (welche nicht mit den ſpäter zu erörternden Beugungserſcheinungen, die eine ſolche Spalte veranlaßt, zu verwechſeln ſind), und ähnliche Phänomene rühren theils von ungleichförmiger Anhäufung der Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Auges, theils von ſehr kleinen minder durchſichtigen Pünktchen im Innern des Auges her. (Pogg. Ann. 3. 479; 4. 577.)

58. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die Netzhaut allein der wahre Sitz des Sehens ſey, doch beſchränkt ſich die Wirkung des Lichtes

nicht auf die unmittelbar getroffene Stelle, ſondern erſtreckt ſich auch auf die nächſte Umgebung derſelben, etwa ſo, wie ein Druck auf ein geſpanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erzeugt. (Pogg. Ann. 27. 490. 29. 339; Zeitſch. n. F. 2. 236.) Hierauf beruht das Phänomen der ſogenannten Irradiation, welches darin beſteht, daß ein ſchmaler heller Gegenſtand auf einem dunklen Grunde merklich breiter erſcheint. Es iſt klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenſtänden, die eine gewiſſe Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenſtände von verſchiedener Entfernung deutlich ſieht; ſo muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich ſeyn. Ob dieſes die Lage oder Geſtalt der Linſe oder der Netzhaut ſey, iſt nicht entſchieden; wahrſcheinlich iſt es aber, daß die Linſe durch Zuſammenziehen der an der Kapſel angehefteten Muskel converer gemacht, und der Entfernung der Gegenſtände angepaßt werden kann. Man empfindet es auch, es ändere ſich im Auge etwas, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet. (Brewſter in Pogg. Ann. 2. 271.) Ein Theil dieſer Veränderung hängt von unſerem Willen, ein anderer aber nur vom Lichteindruck ab. Doch hat dieſe Richtkraft des Auges ihre Grenzen, und das Auge vermag im geſunden Zuſtande nicht das Bild eines Gegenſtandes, der ihm näher ſteht als 8—10 Zoll, auf die Netzhaut zu bringen. Darum ſieht man auch nur jene Gegenſtände, die außerhalb dieſer Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieſer Grenze ſelbſt iſt das Bild deutlich, und zeigt ſich am hellſten und größten, darum heißt die Entfernung von 8—10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Man ſieht demnach in jeder Entfernung, die nicht kleiner iſt als 8—10 Z., Objecte deutlich, und nimmt darum nicht ſelten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen erfordert werden, wiewohl dieſe Annahme nicht ganz richtig iſt, aber ſie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menſchen iſt die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend kleiner, bei anderen viel größer als die vorhin angegebene. Erſtere heißen kurzſichtige, letztere weitſichtige; jener Fehler läßt ſich durch den Gebrauch von Hohllinſen, dieſer durch den Gebrauch von Converlinſen verbeſſern, weil jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt iſt, als der Gegenſtand, dieſe hingegen eines, deſſen Entfernung die des Gegenſtandes übertrifft. Unter Waſſer iſt jedes Menſchenauge ſehr weitſichtig, und kann nur mittelſt einer ſehr converen Linſe deutlich ſehen. Ohne dieſe vernimmt es von einem Gegenſtande nur einen Lichtſchein, aber kein Bild. (Muncke in Pogg. Ann. 2. 257.)

Nur die vorhandene Kurzſichtigkeit und Weitſichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen ſoll, nicht etwa der Umſtand, daß man mit Brillen heller ſieht, als ohne ſie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen paſſen, mit denen es am ſchärfſten ſieht, ſondern die ſchwächſten von allen denen, mit welchen es in der Sehweite deutlich ſieht. Jede Brille ſoll genau ſphäriſche Krümmungen haben, darum haben auch nicht Brillen von jedem Künſtler gleichen Werth. Oft muß

die Brille für ein Auge ſtärker ſeyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindriſche Brillen. (Zeitſch. 3. 452.) Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glaſe ſind an den dickeren Stellen dunkler als an den dünneren; iſochromatiſche Brillen (aus weißem Glaſe mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) ſind ſehr zu empfehlen. Periſcopiſche Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch ſie auch die ſeitwärts gelegenen Objecte noch deutlich ſieht, ſpiegeln aber zu ſehr. Jede Brille ſoll möglichſt nahe am Auge ſeyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. Beim Auswählen einer Brille ſoll man ſtets mit ſchwächeren anfangen und zu den ſtärkeren aufſteigen, nicht aber umgekehrt, und man darf nicht vergeſſen, daß ſich das Auge ſchnell nach der gebrauchten Brille richte, und das Urtheil über die Zweckmäßigkeit einer ſolchen beirre. Wer daher nicht nach der zweiten Wahl die richtige Brille gefunden hat, fahre nicht fort, noch weitere Auswahl zu treffen, ſondern gönne dem Auge einige Ruhe. Betrachtet man eine in ein undurchſichtiges Plättchen gebohrte kleine Oeffnung oder eingeſchnittene ſchmale Spalte durch zwei in einer andern dicht vor das Auge gehaltenen Platte angebrachte einander ſehr nahe Oeffnungen oder Spalten, ſo erſcheint erſtere einfach oder doppelt, je nachdem ſie ſich in der Sehweite des Auges befindet oder nicht. Im letztern Falle vereinigen ſich nämlich die von ihr ausgehenden durch beide Oeffnungen in das Auge eindringenden Lichtbündel nicht auf der Netzhaut zu Einem Bilde, ſondern dieſe wird an zwei getrennten Stellen afficirt. Hierauf gründen ſich eigene Inſtrumente (Brillenmeſſer, Optometer), welche ſchnell die Brennweite der dem Auge angemeſſenen Brille angeben. (Stampfer in Jahrb. des k. k. polyt. Inſt. B. 17.; Adams Anweiſung zur Erhaltung des Geſichtes ꝛc., a. d. Engl., Gotha, 1794.)

59. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden ſoll, ſo muß es eine gewiſſe Größe haben, die von der Beſchaffenheit des Auges und von der Beleuchtung des Gegenſtandes abhängt. Für ein gewöhnliches Auge muß das Bild eines mäßig erleuchteten Objectes $^1/_{1000}$ Z. lang oder breit ſeyn, mithin unter $^1/_2$ Min. erſcheinen; einen glänzenden Silberdraht ſieht man aber noch unter einem Winkel von 2 Sec., und ſelbſtleuchtende Gegenſtände noch, wenn dieſer Winkel nicht mehr meßbar iſt, doch bleibt zuletzt von ihnen nur mehr ein Lichtſchein übrig. Plateau ſah Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″, im Schatten war jeder Winkel etwa um $^1/_3$ größer. Jeder Lichteindruck braucht ſowohl zu ſeiner vollkommenen Entwicklung als zum völligen Verſchwinden eine gewiſſe Zeit. Dieſe richtet ſich, Plateau's Verſuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umſtänden nach der Farbe. Den dauerndſten und ſtärkſten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an, bis zum völligen Verſchwinden beträgt 0″.34. Folgen Eindrücke ſehr ſchnell auf einander, ſo fließen deren mehrere in einen zuſammen, und das Auge erhält von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck, es verſchwinden die zwiſchen den einzelnen Affectionen liegenden Pauſen, und das Auge erhält eine Reihe zuſammenhängender Eindrücke. Geht der Eindruck zu ſchnell vorüber, ſo nimmt man nichts davon wahr. Darum ſieht man eine

abgeſchoſſene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verſchwinden die Umriſſe eines 28½ Z. vom Auge entfernten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenſtand ſelbſt, wenn er 265° 8′ zurücklegt. Das Deutlichſehen außer der Augenaxe liegender Punkte wird durch die große Beweglichkeit des Augapfels, vermöge welcher mehrere Punkte ſchnell hinter einander in dieſe Axe gebracht werden, und durch die den Eindruck überdauernde Wirkung des Lichtes möglich.

60. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die ſcheinbare Größe der auf einmal überſehenen Gegenſtände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entſprechende Aenderung in dieſer hervorbringen. Nach den Ergebniſſen directer an Menſchen- und Thieraugen angeſtellten Beobachtungen ſchneiden ſich die geraden Linien, welche verſchiedene Punkte, die zugleich geſehen werden, mit ihren Bildern auf der Netzhaut verbinden, in einem und demſelben Punkte im Innern des Auges. Dieſen Punkt kann man nach Volkmann den Kreuzungspunkt, jene geraden Linien aber Richtungslinien nennen. Iſt daher AB (Fig. 204) ein leuchtender Gegenſtand, DE ein Stück der Netzhaut, ba das Bild des Gegenſtandes auf ihr, ſo ſind die Geraden Aa, Bb die Richtungslinien für die Punkte A und B, und deren Durchſchnittspunkt C iſt der Kreuzungspunkt. Kennt man die Lage desſelben im Auge, ſo geben die von den äußerſten Punkten A und B irgend eines Gegenſtandes durch ihn gehenden Strahlen die Größe des Bildes ba, welches im Auge entſteht. Da dieſe offenbar von der Größe des Winkels ACB abhängt, ſo kann man letzteren mit Recht den Geſichtswinkel (angulus opticus) nennen, und als das Maß der ſcheinbaren Größe eines Gegenſtandes anſehen. Er wird aber ſelbſt durch die abſolute Größe des Gegenſtandes und durch ſeine Entfernung vom Auge beſtimmt, und iſt deſto größer, je größer jene, und je kleiner dieſe iſt. Die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes, den man nicht auf einmal überſieht, wird theils durch die Größe ſeiner auf einmal überſehenen Theile, theils durch den Weg beſtimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle ſeine Theile hinter einander zu überſehen.

Der Kreuzungspunkt fällt nach Volkmann (Pogg. Ann. 37, 342; 45. 207) hinter die Kryſtalllinſe nahe in die Mitte des Augapfels; um ihn dreht ſich das Auge bei allen ſeinen Bewegungen, weßhalb er ihn auch den Drehpunkt nennt. Zwei leuchtende Punkte, deren Richtungslinien in dieſelbe Gerade fallen, decken ſich. Nennt man Richtungsſtrahl eine durch zwei Punkte, welche dem Auge ſich zu decken ſcheinen, gezogene Gerade, ſo ſind die Richtungslinien und Richtungsſtrahlen derſelben identiſch, ſo daß beide Benennungen auch für einen Punkt gemeinſchaftlich gebraucht werden dürfen. Der Richtungsſtrahl eines Punktes (wenn er ſich unter den in das Auge eindringenden Strahlen befindet) trifft dem gemäß, ungeachtet der Brechungen, welche er im Auge erleidet, zuletzt doch jene Stelle der Netzhaut, wohin er gekommen wäre, wenn er ungebrochen durch das Auge hätte gehen können. Den Behauptungen Volkmann's widerſpricht zum Theile Mile (Pogg. Ann. 42. 37 u. 235), nach welchem der Kreu-

zungspunkt der Richtungslinien des Sehens entfernter von der Netzhaut als der Mittelpunkt des Auges nämlich im Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut liegen, und vom Drehpunkte des Auges verſchieden ſeyn ſoll.

61. Das Bild der Gegenſtände erſcheint zwar im Auge, aber wir verſetzen es auf eine uns unbegreifliche Weiſe außer uns in eine Entfernung von uns, die nicht durch unmittelbare Empfindung gegeben iſt, weil ſie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kömmt. Alles, was wir über Entfernung einen Gegenſtandes von uns wiſſen, iſt Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die ſich mit der Entfernung der Gegenſtände vom Auge ändern, beſtimmt wird. Dieſe Empfindungen beſtimmen: 1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen; d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Punkte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenſtandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (beim Schielen ausgenommen) auf einen Punkt desſelben; je näher dieſer liegt, deſto größer iſt der Winkel der Augenaxen und deſto mehr Anſtrengung koſtet es die Muskeln, dieſe Richtung herzuſtellen. Es ſteht daher die Empfindung dieſer Anſtrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punktes in Verbindung. Dieſes Beurtheilungsmittel fehlt dem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenſtand ſieht, darum irrt er ſich häufiger in ſeinem Urtheile, wie folgender Verſuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf, und ſtellt ſich ſo, daß man ſeine Oeffnung nicht ſieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen iſt; ſo wird man mit dieſem Haken die Oeffnung des Ringes meiſtens verfehlen, wenn man bloß mit einem Auge darauf ſieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hilfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt dieſe ab, ſo ſcheint ſeine Entfernung von uns zu wachſen. 3) Die Menge der zwiſchen dem Auge und dem Gegenſtand liegenden Dinge. 4) Die ſcheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr ſolche Empfindungen auf unſer Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, deſto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenſtänden helfen faſt alle erwähnten Punkte zuſammen, und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, deſto mehr ſieht man ſich dieſer Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewiſſe Grenze überſteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unſer Urtheil ſtützen könnten. — Anders verhält es ſich mit der ſcheinbaren Entfernung der auf einmal geſehenen Gegenſtände von einander. Dieſe wird bloß durch den Abſtand der Bilder dieſer Gegenſtände im Auge beſtimmt, und verhält ſich daher wie die ſcheinbare Größe desſelben. Darum können wir die Entfernung ſolcher Objecte von einander, die in der Richtung der Augenaxen liegen, *nicht* beurtheilen. Bei der Betrachtung eines Gegenſtandes mit beiden

auf gehörige Weiſe gegen ihn gekehrten Augen fallen die Bilder auf der Netzhaut eines jeden an Stellen, und nehmen Geſtalten an, welche von der Entfernung und Lage des Gegenſtandes gegen die Augen abhängen; eine durch den Gebrauch des Geſichtsorganes begründete Fertigkeit in der Beurtheilung ſeiner Ueberlieferungen leitet uns an, die durch beide Bilder hervorgerufenen Eindrücke auf Einen Gegenſtand zu beziehen, daher wir in der Regel die Gegenſtände mit beiden Augen nur einfach ſehen. Wenn man aber die Augen mittelſt der dieſelben bewegenden Muskeln verdreht, wie es beim willkürlichen Schielen der Fall iſt, oder ein Auge mit dem Finger ſeitwärts drückt, und dadurch bewirkt, daß die zwei Bilder in beiden Augen nicht mehr auf die gehörigen Stellen der Netzhaut fallen, ſo ſieht man das Object doppelt. (Zeitſch. 5. 117.)

62. Mit der ſcheinbaren Größe eines Dinges iſt uns zugleich der Umriß ſeiner uns zugekehrten Fläche, und mit der Entfernung jedes einzelnen Punktes derſelben auch zugleich die räumliche Beſchaffenheit dieſer Fläche gegeben, daher durch beides deſſen Geſtalt. Nicht ſelten iſt uns zur Beurtheilung der Geſtalt eines Körpers innerhalb ſeiner Umriſſe die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage ſeines Schattens behülflich. An einem convexen Körper iſt immer ein Punkt leuchtender als die anderen (point brillant), und der Schatten eines ſolchen liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derſelben Seite. Die Beſchaffenheit des Bildes auf der Netzhaut, welches gleichſam eine Projection des Gegenſtandes auf die hintere Wand des Auges darſtellt, und bei einem erhabenen Gegenſtande anders ſich geſtaltet als bei einem hohlen von ähnlicher Figur und Stellung, liefert an ſich ſchon einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Convexität und Concavität. Bei hinreichend nahen Gegenſtänden leiſtet der Gebrauch beider Augen in dieſer Beziehung die wichtigſten Dienſte, welche Wheatſtone's Stereoſkop klar nachweiſet.

Das Stereoſkop beſteht aus einem an der Rückſeite offenen Kaſten ABDC (Fig. 205), an deſſen Vorderwand zwei Oeffnungen O, O′ für beide Augen angebracht ſind, hinter welchen zwei gegen einander rechtwinklig geneigte ebene Spiegel EF, EG aufgeſtellt ſind, ſo daß die Halbirungslinie des Winkels FEG die Wand AC in der Mitte zwiſchen O und O′ ſenkrecht ſchneidet, daher die Spiegelfläche EF mit AB und AC und eben ſo EG mit CD und AC einen Winkel von 45° bildet. Eine auf AB angebrachte Zeichnung wird mittelſt des Spiegels EF nur von dem Auge O, und eine Zeichnung auf CD mittelſt des Spiegels EG nur von dem Auge O′ wahrgenommen. Durch ſchickliche Stellung der Zeichnungen und der Spiegelkante E gegen AC, bringt man es leicht dahin, daß beide Bilder an derſelben Stelle H geſehen werden. Entſprechen die an AB und CD aufgeſtellten Zeichnungen den Anſichten eines bald mit dem einen bald mit dem anderen Auge betrachteten erhabenen oder hohlen Gegenſtandes, ſo wird derſelbe durch das Zuſammenwirken beider Zeichnungen auf das täuſchendſte dargeſtellt. So ſieht man, wenn man M auf AB, m auf CD ſetzt, den kleineren Kreis mit dem größeren concentriſch, und erſteren vor oder hinter letzterem ſchwebend, je nachdem die Stellen Xx gegen AC

gekehrt ſind oder die entgegengeſetzte Lage haben. Unter denſelben Umſtänden ſtellen die Zeichnungen N, n eine erhabene oder hohle Pyramide dar.

63. Die Lage, welche die Bilder mehrerer Gegenſtände im Auge zu einander haben, gibt die ſcheinbare Lage dieſer Gegenſtände ſelbſt. Wiewohl das Bild gegen ſeinen Gegenſtand verkehrt erſcheint, ſo haben doch mehrere Bilder unter einander dieſelbe Lage, wie die ihnen entſprechenden Dinge außer dem Auge, und erſcheinen uns demnach auch in natürlicher Lage. Daß ſie aufrecht erſcheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer beſtehen mag, ſo muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der ſich in das Innere derſelben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom unterſten Punkte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch dieſen Punkt von unten nach oben, diejenigen Strahlen, welche vom oberſten Punkte ins Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es iſt daher dem gewöhnlichen Gange unſerer Empfindung gemäß, das als unteres zu erkennen, das von unten aus, jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

Hält man vor das Auge ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und zwiſchen die Oeffnung und das Auge eine Stecknadel, ſo erblickt man dieſelbe außerhalb des Blattes und aus dem angegebenen Grunde in verkehrter Lage, obgleich das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut eine aufrechte Lage hat.

64. Die Bewegung der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht bloß von der des Gegenſtandes abhängt, ſondern auch von der des Auges; ſo wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der bewegte ſey, nicht durch den Sinnenſchein beantworten können. Die Bewegung ſelbſt iſt nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß iſt. Nach Schmidt darf der in einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter 2¹/₄ Minuten betragen.

65. Farbe iſt Gegenſtand der Empfindung und nur in ſo ferne vorhanden, als es ein empfindendes Subject gibt. Dieſelbe hängt daher ſtets nur zum Theil vom Gegenſtande ab, der das Licht ins Auge ſendet, zum Theil aber vom ſehenden Subjecte. (Manchen Perſonen mangelt die Fähigkeit, gewiſſe Farben, beſonders Farbenabſtufungen, zu unterſcheiden. Eine wiſſenſchaftliche Zuſammenſtellung merkwürdiger Fälle hievon gibt A. Seebeck in Pogg. Ann. 42. 177.) In ſo ferne gibt es alſo keine rein objective Farbe. Doch lehrt die Erfahrung, daß Gegenſtände in der Regel ſo lange von derſelben Farbe erſcheinen, als ſie Licht von derſelben Brechbarkeit ins Auge ſenden, zum Beweiſe, daß dieſe Brechbarkeit die Farbe hauptſächlich beſtimme. Ferner weiß man, daß ein Körper, welcher Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältniſſe ins Auge ſendet, weiß erſcheint, hingegen ſchwarz, wenn er von keiner Strahlengattung ſo

viele dahin ſchickt, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, ſondern nur einige derſelben dem Auge zuſenden, erſcheinen von der Farbe, die aus ihrem Geſammteindrucke hervorgeht. Faſt alle Farben entſtehen auf dieſe Weiſe durch Zuſammenſetzung der Eindrücke mehrerer verſchiedenfarbigen Strahlen, weil faſt kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge ſendet, ſondern immer mehrere derſelben dahin gelangen. Solche Zuſammenſetzungen verſchiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe können Statt finden, wenn verſchiedenfarbige Strahlen auf einmal oder ſchnell hinter einander ins Auge treten; doch erzeugen ſie ſelbſt bei einerlei Beſchaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieſelbe Farbe. Bemalt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gumigutte ein weißes Papier, ſo erſcheint dieſes ſchön grün. Theilt man nun eine Kreisſcheibe in zwei Sectoren, bemalt einen mit Gumigutte, den anderen mit Berlinerblau recht ſtark, und dreht dann die Scheibe, ſo erhält man eine andere Farbe, die ſelbſt wieder von der Schnelligkeit der Rotation, alſo von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht ſo ſchnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, ſo erſcheint auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange, wird aber ſo ſchnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt ſieht, ſo erſcheint dieſelbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau ſehr blaß aufträgt, kann man einen Stich ins Grüne hervorbringen. Aehnliche Erſcheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.) Zur Hervorbringung ſolcher Erſcheinungen iſt der von Buſolt angegebene Farbenkreiſel vorzüglich brauchbar. (Pogg. Ann. 32. 656.)

Farbe iſt von dem, was man Farbeſtoff nennt, weſentlich verſchieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet. Erſtere iſt eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale, welches die dieſe Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zuſendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder ſeine chemiſche Natur dahin abändern, daß er beſtimmte Strahlen reflectirt.

66. Ob eine Farbe für ſich, oder nur im Vergleiche mit einer anderen, entweder vorliegenden oder im Gedächtniß behaltenen, beſtimmt werden kann (etwa ſo, wie man die Höhe eines Tones nur im Vergleiche mit einem anderen beurtheilen kann), darüber haben ſich die Phyſiker bis jetzt noch nicht beſtimmt ausgeſprochen; doch iſt letzteres das wahrſcheinlichere. In vielen Fällen tritt bei der Beſtimmung einer Farbe der ſubjective Einfluß des Sehenden gar ſehr hervor. Es wird nämlich das Auge durch einen vorhergehenden ſtarken oder länger dauernden Eindruck für einen nachfolgenden derſelben Art eine gewiſſe Zeit lang unempfindlich; gar oft empfindet es auch von zwei gleichzeitigen Eindrücken nur den ſtärkeren, und beharrt ſelbſt hierin einige Zeit, wenn dieſer durch Abhaltung des mit ihm contraſtirenden iſolirt und ſodann die Quelle des Contraſtes unterdrückt oder verändert wor-

den iſt. Die von den angeführten Umſtänden abhängenden Farben heißen daher mit Recht ſubjective. Göthe nennt ſie phyſiologiſche, andere heißen ſie zufällige Farben.

Als Beiſpiele dieſer zwei Erregungsarten ſubjectiver Farbenerſcheinungen mögen Folgende dienen: Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an, und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; ſo ſieht man dieſelbe Schrift in grünen Zügen. War die Schrift orange, ſo ſieht man ſie auf dem zweiten Papiere blau, war ſie gelb, ſo erſcheint ſie violett. Die vor den Augen ſchwebenden Farben, wenn man in die Sonne geſehen hat und dann die Augenlieder ſchließt u. d. m. gehören hierher. Hier wird das Auge für rothe Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in dasſelbe, ſo bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der rothen enthält, nämlich der grünen. Daß dieſes die wahre Erklärung dieſer ſubjectiven Farben ſey, beweiſet der Umſtand, daß, wenn man den früher erwähnten Verſuch mit einem Auge anſtellt und das andere verſchloſſen hält, beim wechſelſeitigen Oeffnen des einen oder des andern die ſubjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. Bringt man an dem Fenſterladen eines verfinſterten Zimmers zwei geräumige Oeffnungen an, ſtellt dann vor ſie einen undurchſichtigen Körper, der von dem durch jede Oeffnung eintretenden Lichte einen Schatten werfen kann; ſo erhält man auf einer weißen Tafel natürlich zwei Schattenbilder, die grau ſind, weil der einem Lichte entſprechende Schatten in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Stellt man aber vor die eine Oeffnung ein rothes Glas, ſo erſcheint der ihr zugehörige Schatten von der complementären Farbe des Glaſes, in unſerem Falle grün, während der von der anderen Oeffnung herrührende Schatten die rothe Farbe annimmt. Etwas ähnliches läßt ſich mit anderen gefärbten Gläſern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Geſagten ganz ungezwungen; denn iſt z. B. R (Fig 206) die mit dem rothen Glaſe bedeckte Oeffnung, A die unbedeckte, weißes Licht gebende, C der undurchſichtige Körper, welcher den Schatten wirft, r der Schattenraum, welcher durch R, und a derjenige, welcher durch A beleuchtet wird; ſo iſt klar, daß in den unbeſchatteten Raum b rothes und weißes Licht falle, und da das weiße ſelbſt wieder rothes enthält, ſo iſt das rothe das überwiegende, jedoch wird r mehr roth erſcheinen, weil es nur allein rothe Strahlen empfängt. Die rothen Strahlen, welche das in a befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen, und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt Betrachtet man nachher den grünen Schatten durch ein alles andere Licht abhaltendes geſchwärztes Rohr, ſo erſcheint er fortdauernd grün, ohne daß der Contraſt mit dem rothen Lichte der Umgebung mitwirkt; allein daraus läßt ſich Nichts gegen obige Erklärung folgern, weil die Erſcheinung der grünen Farbe nicht Statt findet, wenn man das Rohr vor Anwendung des rothen Glaſes gegen den Schatten richtet, aber augenblicklich eintritt, wenn man das Rohr beſeitiget. Die früher iſolirte grüne Farbe dauert auch fort, wenn das rothe Glas weggenommen, ja ſogar wenn ein anderes gefärbtes Glas vor die Oeffnung geſetzt wird, aber nach Entfernung des Rohres ſieht man im Schatten augenblicklich die dem letzten Glaſe entſprechende Ergänzungsfarbe (Fechner in Pogg Ann. 44, 221 u. 513). Die ſchönen blauen Schatten, welche ſich während der Dämmerung in einem durch Kerzenlicht er-

leuchteten Zimmer zeigen, und vornehmlich auf der gelblich röthlichen Färbung dieſes Lichtes beruhen, und viele andere, die man vorzüglich in Göthe's Farbenlehre angegeben findet, gehören hieher, und werden auf gleiche Weiſe erklärt. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit den complementär gefärbten Bildern ſchmaler undurchſichtiger Gegenſtände in mit Spiegelfolie belegten Tafeln aus gefärbtem Glaſe. (Scherffer über zufällige Farben. Wien 1765. Zſchokke über gefärbte Schatten. Aarau, 1826. Göthe's Farbenlehre. Plateau in Zeitſch. n. F. 3. 190 und in Pogg. Ann. 32, 543. Oſann in Pogg. Ann. 37, 287; 42, 72. Pohlmann ebend. 37, 319.)

67. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Geſtalt verſchieden ſind, dieſelben Eindrücke bekommen kann, wie von ſolchen, die in dieſen Verhältniſſen mit einander übereinſtimmen und umgekehrt. Baut der Verſtand auf dieſe Eindrücke ohne weitere Unterſuchung ein Urtheil, ſo irrt er, und unterliegt einer optiſchen Täuſchung.

Es iſt nicht ſchwer, den Grund jeder einzelnen optiſchen Täuſchung aufzufinden. Zur Uebung im Erklären folgen hier einige. Täuſchungen in Bezug auf Größe und Entfernung: In einer aus parallelen Baumreihen beſtehenden Allee convergiren die entfernteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales ſcheint ſich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber ſich zu ſenken; eine Thurmſpitze neigt ſich gegen den Beobachter; durch eine kleine Oeffnung ſieht man viele und ſehr große Gegenſtände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, ſcheint alſo eben ſo groß als dieſe; eigens gezeichnete Bilder (optiſche Zerrbilder) ſcheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man ſie wie ein gewöhnliches Bild anſieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man ſie ſchief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papiere ſcheinen uns gezeichnete Gegenſtände eine ſehr verſchiedene Entfernung zu haben (Panorama). Weiße Gebäude hält man für näher, als ſie ſind. In großen Ebenen, über Waſſer, ſchätzt man Entfernungen für zu gering. Das Himmelsgewölbe (Firmament) ſcheint keine Halbkugel, ſondern bloß ein Kugelſegment zu ſeyn. Die Sonne, der Mond, die Sterne ſcheinen daran angeheftet, und erſtere Körper beim Auf- oder Untergehen weit größer als wenn ſie einen hohen Stand haben. Ein Gleiches gilt von den Diſtanzen der Sterne oder von der ſcheinbaren Ausdehnung der Sternbilder. Täuſchungen in Bezug auf Geſtalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erſcheinen als Scheiben. Eine mit Kerzenlicht beleuchtete erhabene Fläche durch ein optiſches Inſtrument, das ein verkehrtes Bild gibt, angeſehen, erſcheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denſelben Umſtänden als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erſcheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne ſcheint auf- und unterzugehen; ſieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Waſſer hinab, ſo ſcheint die Brücke ſtromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden ſcheinen die am Ufer befindlichen Gegenſtände ſich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf ſchnell, während man auf ein Object hinſieht, ſo ſieht man dieſes zittern. Eine glühende, ſchnell im Kreiſe bewegte Kohle erſcheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe ſchnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, ſo glaubt man den Vogel im Käfig zu ſehen (Thaumatrop, *trompe d'oeil.*) Sieht man durch die Zwiſchenräume eines Gitters auf die Speichen eines ſchnell

vorbei rollenden Wagenrades, ſo ſieht man das Rad nicht ſich drehen, ſondern ſtatt deſſen unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieſer Erſcheinung muß man ſich das Gitter im Fortſchreiten und das Rad bloß im Drehen, aber nicht zugleich im Fortſchreiten begriffen denken, und ſich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorſtellen. Dieſe beiden Linien ſchneiden ſich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Punkten, welche die gedachte Curve geben. Sind dieſe beiden Bewegungen gleichförmig, ſo wiederholt ſich dieſelbe Erſcheinung, ſo oft Speiche und Oeffnung in dieſelbe Lage zurückkehren, und macht, daß dieſe Curve unbeweglich erſcheint.) Läßt man einen geſchwärzten Kreiſel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenſcheine auf weißem Papiere ſpielen, ſo ſieht man an der Stelle, wo ſich die Scheibe des Kreiſels und ihr Schatten decken, feſtſtehende beſonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausſchnitten in Bewegung, und ſieht ſo auf ſie hin, daß man beide zugleich erblickt; ſo bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, ſcheinen ſich aber die Räder zu decken, ſo ſieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelſchleier. Verſieht man, wie es bei den von Stampfer erfundenen ſtroboſkopiſchen Scheiben der Fall iſt, eine Pappſcheibe gegen ihren Umfang hin mit einer großen Anzahl rechteckiger Oeffnungen, und bemalt eine ihrer Flächen mit verſchiedenen Figuren, als Thier- und Menſchengeſtalten, Maſchinentheilen ꝛc., die eine zuſammenhängende Bewegung vorſtellen, und läßt dann die Scheibe vor einem Planſpiegel ſchnell kreiſen, während man durch deren Löcher in den Spiegel ſieht, ſo erblickt man darin jene Zeichnungen in der zuſammenhängenden Bewegung, welche ihre einzelnen von einander getrennten Theile vorſtellen, die bloß periodiſch (drehend oder oscillirend) oder auch progreſſiv iſt, je nachdem die in verſchiedenen Stellungen verzeichneten Figuren gegen die Löcher gleichgeſtellt ſind, oder deren Abſtände von den Löchern variiren. Auf ähnlichen Gründen beruht auch Plateau's Phantasmaſkop und Horner's Dädaleum. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitſch. 10. 80; 22. 601; 32. 636 u. 650; *Annal. de Ch.* 53. 304.) Täuſchungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt iſt, erſcheint ganz grün, wenn man ſie ſchnell um eine auf ihrer Ebene ſenkrechte Axe dreht. Eben ſo erſcheint ſie orange, wenn man ſie halb gelb und halb roth malt. Eine in verſchiedenen concentriſchen Kreisringen in verſchiedenem Flächenverhältniſſe mit Weiß und Schwarz bedeckte Scheibe erſcheint, wie Fechner beobachtet hat (Pogg. Ann. 45. 227), bei ſchneller Rotation verſchieden gefärbt, da die Eindrücke der im weißen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen mit verſchiedener Schnelligkeit im Auge verſchwinden und entſtehen. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenſtand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite, und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor daſſelbe, ſo erſcheint dieſer doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth geſehen. Viele Täuſchungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeſchaffenheit. So ſieht z. B. der Gelbſüchtige alles gelb. Daß es Menſchen gibt, denen die Fähigkeit mangelt gewiſſe Farben zu unterſcheiden, wurde bereits oben (65) angeführt. Es ſoll ſogar Menſchen geben, die in Folge einer abnormen Beſchaffenheit der Augen alles verkehrt, und andere, die alles doppelt ſehen. (Zeitſch. 2. 247; 4. 378; 6. 232.)

Achtes Kapitel.

Optiſche Inſtrumente.

68. Manches Object erſcheint dem freien Auge entweder wegen ſeiner zu großen Entfernung oder wegen ſeiner zu geringen Ausdehnung unter einem zu kleinen Geſichtswinkel, als daß man es noch deutlich ſehen könnte; öfters hat es auch eine für mehrere Zwecke zu unbequeme Lage. Um ſolche Objecte größer und daher auch deutlicher oder in einer beſſeren Lage zu ſehen, braucht man eigene, optiſche Inſtrumente, die aus Linſen, oder aus Linſen und Spiegeln zuſammengeſetzt ſind. Die vorzüglichſten derſelben ſind die Mikroſkope und die Teleſkope (Fernröhre). Daher ſoll von dieſen zuerſt und am ausführlichſten die Rede ſeyn, um ſo mehr, als jeder, welcher die Conſtruction dieſer verſteht, ſich die Kenntniß des Baues der übrigen optiſchen Inſtrumente leicht eigen machen wird.

Mikroſkope.

69. Ein Mikroſkop dient dazu, einen nahen Gegenſtand unter einem vergrößerten Geſichtswinkel zu ſehen. Man hat mehrere Arten derſelben, und zwar einfache und zuſammengeſetzte Mikroſkope. Ein einfaches Mikroſkop beſteht nur aus einer einzigen Linſe oder aus mehreren dicht an einander geſtellten, die zuſammen wie eine einzige wirken; ein zuſammengeſetztes aus mehreren Linſen oder aus Spiegeln und aus Linſen. Im erſteren Falle heißt es ein dioptriſches, im letzteren ein katoptriſches Mikroſkop.

70. Streng genommen iſt jede Convexlinſe, ihre Brennweite mag wie immer beſchaffen ſeyn, ein einfaches Mikroſkop, weil ſie von einem Gegenſtande, der ſich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen ſo ins Auge ſendet, als kämen ſie von einem größeren Objecte her. Man bedient ſich ſolcher Gläſer oft zum Leſen, gibt ihnen dann eine große Oeffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchſehen kann, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Punkte in beide Augen gehen, mit der Axe des Glaſes keinen zu großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweiſe nur ſolche Convexlinſen einfache Mikroſkope, deren Brennweite viel kleiner iſt, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, ſo heißt man ſie Loupen. Es ſey AB (Fig. 207) ein Gegenſtand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erſcheint, als daß er deutlich geſehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man AB näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verluſt derſelben dem Auge viel näher bringen können, wenn man eine mikroſkopiſche Linſe CD zwiſchen AB und das Auge ſtellt, durch deren Wirkſamkeit die Strahlen von AB ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem vergrößerten Gegenſtande A′B′ her, welcher ſich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

71. Man denke ſich das Auge ſehr nahe an der Linſe, und dieſe von der Art, daß man ihre Dicke vernachläßigen und ſich das Auge in ihrem optiſchen Mittelpunkte O vorſtellen kann, ferner ſey A′B′ in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge: ſo wird die Vergrößerung m, welche die Linſe gewährt, offenbar durch den Quotienten $\frac{A'B'}{AB}$ gemeſſen. Aber es iſt

$$A'B' : AB = OB' : OB \text{ oder } \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}, \text{ mithin } m = \frac{OB'}{OB}.$$

Zwiſchen OB, der Entfernung des Gegenſtandes von der Linſe; OB′, der Entfernung des Bildes von derſelben und der Brennweite p der Linſe, findet die in 36 abgeleitete Gleichung (C) Statt. Da aber hier OB′ eine in Bezug auf den bei der Ableitung genannter Gleichung angenommenen Ort des Bildes entgegengeſetzte Lage hat, ſo muß man $OB' = -\alpha$ ſetzen, während $OB = a$ iſt. Dem gemäß wird $\frac{1}{OB} - \frac{1}{OB'} = \frac{1}{p}$, woraus $\frac{OB'}{OB} = \frac{OB'}{p} + 1$ folgt, mithin, wenn man unter der Vorausſetzung, daß das Auge der Linſe möglichſt nahe ſtehe, die der OB′ gleiche Sehweite durch h vorſtellt:

$$m = \frac{h}{p} + 1.$$

Es iſt alſo die Zahl der linearen Vergrößerung um die Einheit größer, als der Quotient aus der Brennweite der Linſe in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieſer Zahl gibt die Vergrößerung der Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerung durch Mikroſkope iſt ſtets letztere zu verſtehen. — Hieraus ſieht man zugleich, daß dieſelbe Linſe für ein weitſichtiges Auge mehr, für ein kurzſichtiges weniger vergrößere, als für ein geſundes, und daß ein einfaches Mikroſkop deſto mehr vergrößere, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt. Man hat ſolche Linſen, die über 40,000mal vergrößern, deren Brennweite daher weniger als $^1/_2$ L. beträgt. Indeß iſt die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines ſolchen Inſtrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erſcheine. Dieſes wird der Fall ſeyn, wenn die Linſe vollkommen ſphäriſche Krümmungen hat, die Halbmeſſer derſelben ſo eingerichtet ſind, daß die ſphäriſche Abweichung nahe ein Kleinſtes iſt, und die Randſtrahlen durch die Faſſung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatiſchen Abweichung iſt es gut, die Linſe aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzt. Daher thun Linſen aus Edelſteinen, z. B. aus Diamant, Saphir ꝛc. ſo gute Dienſte. Mittelſt ſo beſchaffener Linſen kann man die feinſten Gegenſtände, wie z. B. die Parallelſtreifen auf den Schuppen der Schmetterlingsflügel, deutlich ſehen, man wird ſich aber mit einem geringen Geſichtsfelde (Raum, den man auf einmal überſieht) begnügen müſſen, und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht ſcheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entſpringt, das Auge recht nahe an die Linſe zu bringen.

Man kann ſtatt einer Linſe auch eine mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllte Glaskugel, oder gar nur einen Waſſertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Mikroſkop brauchen. Brewſter empfiehlt dazu die Kryſtallinſen aus Fiſchaugen. Daß bei ſtarken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet ſeyn müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Dieſes bewirkt man meiſtens mittelſt eines unter dem Objecte angebrachten Hohlſpiegels, oft wendet man aber noch überdieß eigene Hohlſpiegel an, die man an die Faſſung der Linſe anſteckt, damit ſie das die Linſe verfehlende Licht auf den Gegenſtand zurückſenden. Sie heißen Lieberkühn'ſche Spiegel, und ſind beſonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieſer Inſtrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge ſo nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgeſetzt wurde, wenn überhaupt die Oeffnung desſelben nur etwas bedeutend iſt. Je weiter das Auge vom Glaſe entfernt iſt, deſto mehr ſcheint das Object vergrößert, aber deſto kleiner wird das Geſichtsfeld. Bei den ſogenannten Wilſon'ſchen Loupen ſteht das Auge im Brennpunkte des Sammelglaſes, welches zu dieſem Behufe in ein Röhrchen mit einer Oeffnung für das Auge gefaßt wird.

72. Zu den einfachen Mikroſkopen kann man auch diejenigen zählen, welche aus zwei Converlinſen A und B beſtehen (Fig. 208), die ſich ſehr nahe neben einander befinden, und eigentlich die Stelle einer einzigen mehr converen vertreten, dabei aber eine größere Lichtſtärke (Helligkeit) gewähren, als eine einzelne, eben ſo vergrößernde Linſe, und eine geringere ſphäriſche Abweichung verurſachen. Der Gegenſtand ab ſteht ſo gegen beide Gläſer, daß die Strahlen nach ihrer Brechung in A ſo auf B fallen, als kämen ſie von a′b′ her, und erleiden durch dieſes Glas eine ſolche Modiſication, daß ſie ins Auge kommen, als wenn ſie von einem Gegenſtande a″b″ ausgingen, der ſich in der deutlichen Sehweite beſindet. Es iſt begreiflich, daß man auf dieſelbe Weiſe drei Linſen zuſammenſetzen kann.

Chevalier hat dieſes Mikroſkop ſo eingerichtet, daß man den Gegenſtand gleich auf einem matten Glaſe, oder auf einem durchſcheinenden Papiere wahrnehmen kann. A und B ſind in ſeinem Inſtrumente Planconverlinſen, deren Converitäten einander zugekehrt ſind, ab iſt durch einen Concavſpiegel hinreichend erleuchtet, und die Strahlen fallen bei ihrem Austritte aus B auf ein dreiſeitiges und gleichſchenkeliges Prisma, wie CED iſt, dringen durch CE auf die Hypotenuſe DE, die mit Papier belegt iſt, werden nach CD reflectirt, ſo daß man oberhalb CD auf einem matten Glaſe den Gegenſtand ſehen und ohne Beſchwerde nachzeichnen kann. *(Bulletin de la Société d'encouragement. Nov. 1822)* In die Reihe dieſer Inſtrumente gehört das neue Wollaſton'ſche Mikroſkop mit zwei Planconverlinſen von verſchiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt ſind, auf die aber das Licht, welches das (durchſichtige) Object beleuchtet, und mittelſt eines kleinen Planſpiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerſt durch eine Converlinſe gelangt (Fig. 209). Die Wirkung eines ſolchen Mikroſkops iſt ſehr zufriedenſtellend. (Pogg. Ann. 16, 176. Zeitſch. 8. 484.)

73. Die gewöhnlichen zuſammengeſetzten Mikroſkope haben folgende Einrichtung: A (Fig. 210. a) iſt eine Sammellinſe, BC ein Gegenſtand, der etwas außer ihrer Brennweite ſteht und daher hinter A ein verkehrtes und vergrößertes Bild bc gibt; D iſt eine

mikroſkopiſche Linſe, die gegen b c ſo ſteht, wie im einfachen Mikroſkope die Linſe gegen ihren Gegenſtand. Zu einem beſonderen Zwecke wird in E (Fig. 210. b) eine dritte Convexlinſe angebracht. A heißt Objectivlinſe, E Collectivlinſe, D Ocularlinſe. Die Collectivlinſe fängt die aus dem Objectiv tretenden Strahlen, ehe ſie ſich zum Bilde b c vereinigt haben, auf, und es entſteht dadurch ein von der Objectivlinſe weniger entferntes und kleineres Bild b′ c′, das durch die Ocularlinſe betrachtet wird. Um den Ort des durch die Collectivlinſe modificirten Bildes eines Punktes des Gegenſtandes, z. B. B zu finden, hat man von dem Mittelpunkte der Linſe E zu dem correſpondirenden Punkte b im Bilde, welches die Objectivlinſe für ſich allein erzeugt hätte, eine gerade Linie, den Hauptſtrahl für die Linſe E, zu ziehen, und in ihr E b′ der aus der Gegenſtandsweite E b folgenden Bildweite gemäß aufzutragen. Bei dieſer Zuſammenſetzung der Linſen erhält man im Geſichtsfelde des Ocularglaſes ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Gegenſtandes. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Oeffnungen der Linſen und ihre gegenſeitigen Stellungen im gehörigen Verhältniſſe; ſo iſt dieſes Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Geſichtsfeld. Dieſes hängt von dem Winkel ab, den die äußerſten der durch die Mitte des Objectives gehenden Strahlen mit einander machen, welche noch ins Auge gelangen können. Der vortheilhafteſte Platz für das Auge iſt der Ort, wo dieſe Strahlen nach dem Austritte aus dem Ocular die Are des Inſtrumentes durchſchneiden. Man wird aber nur bei einer ſehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Mikoſkrop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objectve gemachten Bildes durch das Ocular noch geſteigert wird. Um zu ſehen, wovon jeder dieſer Vorzüge für ſich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Mikroſkops, vorzüglich die Objectivlinſe und die Ocularlinſen, für ſich betrachten.

74. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinſe wird ſelbſt bei der vollkommenſten ſphäriſchen Geſtalt und der zweckmäßigſten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein mit der chromatiſchen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man ſie durch eine Flintglaslinſe achromatiſiren. Die Flintglaslinſe wird dem Objecte zugewendet. Es iſt allerdings theoretiſch möglich, die vier Krümmungen einer ſolchen Doppellinſe ſo einzurichten, daß mit der chromatiſchen Abweichung auch die ſphäriſche größtentheils aufgehoben, mithin die Linſe aplanatiſch wird; aber in der Ausführung hat dieſes, bei der geringen Größe der Krümmungshalbmeſſer, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatiſchen Doppellinſen, beſonders wenn ſie ſehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um dieſen zu heben, braucht man oft drei Linſen, allein dieſe machen das Bild nur von der chromatiſchen Abweichung freier, vergrößern aber nicht ſelten die ſphäriſche. Letztere hebt man am beſten, wenn man zwei oder gar drei möglichſt gut achromatiſirte Doppellinſen unmittelbar über einander ſchraubt. Solche

Objective geben aber nicht bloß ein deutlicheres, ſondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linſen eine größere Oeffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Punkte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linſe. Indeß haben ſolche Linſen doch den Nachtheil, daß man das Object ſehr nahe an die äußerſte derſelben ſtellen muß. — Das Bild, welches eine Objectivlinſe macht, wird deſto größer ſeyn, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt, und je näher man das Object an den Brennpunkt derſelben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linſen beſteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linſe liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Oeffnung der Linſe und mithin auch die Lichtſtärke des Bildes abnehmen, und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich iſt, auch die Undeutlichkeit wachſen.

75. Das Ocular dient nur als einfaches Mikroſkop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb muß es nach denſelben Regeln conſtruirt ſeyn, nach welchen ein ſolches Mikroſkop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit ſo kurzer Brennweite verſehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Mikroſkope thut, weil das auf einmal zu überſehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meiſten Fällen auch die Lichtſtärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild iſt nie ganz frei von beiden Abweichungen, und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Mikroſkop ein deſto ſchärferes Ocular, je vollkommener ſein Objectiv iſt, darum kann man bei aplanatiſchen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlaſſen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber ſelbſt bei der beſten Einrichtung des Objectives die chromatiſche und ſphäriſche Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinſtes zu bringen ſuchen. Zu erſterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, deſſen Function man aus Folgendem erſehen wird: Es ſey A a (Fig. 211) ein von dem Objective kommender, auf die Collectivlinſe fallender Lichtſtrahl. Durch dieſe wird er gebrochen und zugleich zerſtreut, ſo daß der violette Theil die Richtung a c, der rothe die Richtung a b erhält, und daher einer die Axe des Inſtrumentes früher ſchneidet als der andere. Allein wenn ſie, bevor ſie ins Auge kommen, noch durch die Linſe O gehen müſſen, ſo wird der violette Strahl, der ſie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linſen werden dieſe Strahlen mit einander parallel, wie b x und c y. Die ſphäriſche Abweichung des Oculars macht man dadurch unſchädlich, daß man Linſen von der beſten Form oder Planconvexlinſen, mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet, und etwa ihre halbe Oeffnung mittelſt der Faſſung deckt. Uebrigens iſt es klar, daß man für dasſelbe Objectiv

mehrere Oculare und für dasſelbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die ſtufenweiſe mehr vergrößern. Plößl, deſſen Mikroſkope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht oft mit Vortheil als Ocular zwei achromatiſirte Linſen.

76. Das Objectiv und die Oculare müſſen in eine Röhre eingeſchloſſen ſeyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt iſt, und ihre Axen müſſen in eine gerade Linie fallen. Da, wo das vom Objective gemachte Bild ſeinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerſtreute Licht abhält, ja ſogar oft einen Theil des Bildes ſelbſt hindert, die Strahlen auf das Ocular zu ſenden. Das Object wird auf einer beſonderen Unterlage an einem eigens dazu beſtimmten Tiſche angebracht, der ſich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv ſelbſt gegen denſelben beweglich iſt, um ſo das von letzterem gemachte Bild ſtets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens mittelſt Tages- bequemer mittelſt Lampenlicht beleuchtet. Für durchſichtige Gegenſtände dient ein Concavſpiegel, der unter dem Tiſche nach allen Seiten beweglich angebracht iſt, deſſen Randſtrahlen, wo die Beleuchtung (zum Vortheile der Schärfe der Bilder) gemäßigt werden darf, durch ringförmige Schirme von zweckmäßiger Größe abgehalten werden können; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinſen oder noch beſſer eine prismatiſche Linſe, wie ſie Fig. 212, A darſtellt. In dieſe dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche a b ein, erleidet an der ebenen, mit der Faſſung belegten Fläche a c eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche b c, und gelangt ſo concentrirt auf das Object d e. Fig. 212 ſtellt ein zuſammengeſetztes Mikroſkop vor.

77. Bei der Beurtheilung eines Mikroſkopes hat man hauptſächlich auf die Reinheit und Größe des Geſichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu ſehen.

78. Das Geſichtsfeld ſoll nicht bloß in der Mitte, ſondern bis auf den äußerſten Rand rein und farblos ſeyn und eine hinreichende Größe haben. Letztere beſtimmt man am beſten mittelſt eines hinreichend fein getheilten Mikrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal überſehenen Theilungsfelder zählt.

79. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder ſchätzt man mittelſt zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als ſolche ſind vorzüglich die oberſten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom Papilio Crataegi und Brassicae oder vom Papilio Menelaus oder von der Kleidermotte. Dieſe Schuppen ſind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen verſehen. Je deutlicher dieſe Linien erſcheinen und bei je geringerer Vergrößerung man ſie ſieht, deſto größer iſt die Deutlichkeit des Bildes.

Die Längenſtreifen des Papilio Crataegi, Brassicae und Menelaus ſollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erſcheinen, bei 100—200maliger ſoll man auch die Zwiſchenräume ſehen und den Stiel als coniſche Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die beſten Inſtrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Inſtrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es iſt überhaupt gut, irgend ein Object, deſſen vergrößertes Bild man durch öfteres Anſchauen im Gedächtniſſe hat, zur Prüfung eines Mikroſkopes zu wählen.

80. Die Stärke der Vergrößerung eines Mikroſkopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linſen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden, oder durch Verſuche ausmitteln. Im erſteren Falle ſucht man die durch das Objectiv (41) und dann die durch das Ocular (71) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Mikroſkopes. Bei der practiſchen Beſtimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weiſe verfahren und entweder die ganze Vergrößerung auf einmal ſuchen, oder jeden der zwei Theile, aus denen ſie beſteht, beſonders beſtimmen. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt ſich auf practiſchem Wege ſo finden: Man betrachte ein Mikrometer als Object und zähle, wie viele Felder ſeines Gitters man auf einmal überſieht. So vielmal nun der Durchmeſſer des überſehenen Stückes in dem Durchmeſſer des Diaphragma's enthalten iſt, ſo vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Mikrometer, lege einen als Object auf den Tiſch des Inſtrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular zugleich vergrößert wird, ſo braucht man nur zu beobachten, wie viele Theile des einen in einen Theil des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Multiplication der vom Objectiv hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Inſtrumentes. Zur Beſtimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Mikroſkopes iſt vorzüglich das vom Freiherrn von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befeſtiget nämlich über dem Oculare einen kleinen Planſpiegel ſo, daß er gegen die Axe des Inſtrumentes um 45° geneigt iſt, und legt ein Mikrometer als Object ein. Da ſieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber ſtehenden Wand, wenn das Mikroſkop vertical ſteht. Iſt dieſe Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale verſehen, ſo kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Mikrometers erſcheint und durch Diviſion der ſcheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitſch. 4. 1.)

Man kann mittelſt eines Mikrometers auch den Durchmeſſer kleiner Gegenſtände, die man durch das Mikroſkop ganz ſieht, beſtimmen. Zu dieſem Behufe legt man ein Mikrometer auf die Blendung unter

dem Ocularglaſe, wobei dieſe Blendung ſo ſtehen muß, daß das Mikrometer durch das Ocularglas betrachtet, vollkommen deutlich erſcheint. Bringt man nun vorläufig vor das Objectiv ein Mikrometer, und kennt man den abſoluten Werth des Abſtandes zweier benachbarter Theilſtriche auf demſelben genau, ſo erfährt man durch Vergleichung beider Mikrometer, ein für alle Mal, wie groß ein vor dem Objectiv ſtehender Gegenſtand iſt, deſſen Bild mit dem Mikroſkop deutlich geſehen, auf dem Ocular-Mikrometer eine gewiſſe Anzahl Theilſtriche einnimmt, ſo daß man durch bloße Anwendung des Ocular-Mikrometers mit Leichtigkeit die Dimenſionen jedes beliebigen Objectes (ſogar eines in Bewegung befindlichen Gegenſtandes), mit einer von der Beſchaffenheit der angewendeten Mikrometer abhängenden Genauigkeit meſſen kann. Ganz Vorzügliches leiſten die von dem großen Künſtler Fraunhofer und auch an Plößl's Inſtrumenten angebrachten Schraubenmikrometer, wodurch man jede kleine Verſchiebung des Objecttiſches des Mikroſkopes, und wenn man ſo die beiden Enden des Bildes der zu meſſenden Dimenſion eines Gegenſtandes mit einem feinen, über die Blendung des Oculars geſpannten Faden nach einander in Contact bringt, den Durchmeſſer eines Gegenſtandes bis $^{1}/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beſchreibung zweier zuſammengeſetzter Mikroſkope. Augsburg, 1769. *Essay on the microscope by Adams. London.* 1787. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. f. f. Sehr lehrreich iſt ein Aufſatz über Mikroſkope vom Freih. von Jacquin in Zeitſch. 5. 129.)

81. Unter den catoptriſchen Mikroſkopen iſt das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichſte. Es beſteht im Weſentlichen aus zwei Metallſpiegeln a und b (Fig. 213), die ſich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglaſe. Der größere Spiegel iſt hohl, elliptiſch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmeſſer mit dem Rohre, befindet ſich am Ende desſelben und iſt ſo geſtellt, daß ſeine Axe mit der des Rohres zuſammenfällt. Der andere Spiegel iſt eben, ſehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt, ſo geſtellt, daß ſeine Mitte in dieſer Axe liegt, mit der ſpiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Oeffnung im Rohre zugewendet, unter welcher ſich der Objectträger c befindet. Zur Beleuchtung des Gegenſtandes dienet ein Hohlſpiegel. Das wohlbeleuchtete Object ſendet die Strahlen durch die Oeffnung auf den Planſpiegel, der ſie auf den elliptiſchen Hohlſpiegel zurückwirft, und dieſer macht am entgegengeſetzten Ende des Rohres ein Bild, das man mit einem Ocularglaſe anſehen kann. Dieſes Inſtrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, ſtellt wegen Mangel der Farbenzerſtreuung die Gegenſtände ſcharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenſtände von bedeutender Größe, ſelbſt ſolche, die im Waſſer ſchwimmen, beobachten, weil ſie wenigſtens $^{1}/_{2}$ Zoll vom Körper des Inſtrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Inſtrument horizontal ſteht, und die Vergrößerung ſchnell wechſeln, ohne die Entfernung des Objectes vom Inſtrumente zu ändern; doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtſtärke erkaufen, beſonders wenn man ſtarke Vergrößerungen anbringen will. (*Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod.* 1818. Zeitſch. 1. 301.)

82. Zu den Mikroſkopen kann man auch das Sonnen-, das Gas- (Hydro-Oxygen-) und das Lampenmikroſkop zählen. Der Zweck dieſer Inſtrumente iſt, die Bilder kleiner Gegenſtände ſtark vergrößert auf eine weiße Tafel oder auf einen transparenten Schirm zu projiciren, und auf dieſe Weiſe mehreren Perſonen zugleich ſichtbar zu machen. Sie kommen darin überein, daß bei jedem derſelben der Gegenſtand in umgekehrter Lage vor eine oder beſſer vor mehrere achromatiſch und aplanatiſch verbundene Linſen geſtellt wird, etwas weiter als der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen von denſelben entfernt. Je mehr der Gegenſtand letzterem Punkte genähert wird, deſto größer fällt die Bildweite, mithin um ſo größer das Bild ſelbſt aus. Aber die Lichtſtärke des Bildes wird dabei im Verhältniſſe des Quadrates jeder linearen Dimenſion desſelben verringert; ſoll daher dieſes Bild auf dem Schirme oder der Tafel, worauf man es auffangt, mit befriedigender Helligkeit erſcheinen, ſo muß man für hinreichende Beleuchtung des Gegenſtandes Sorge tragen. Durch die Art, auf welche dieſe erzielt wird, unterſcheiden ſich oben genannte drei Inſtrumente. Bei dem Sonnenmikroſkope, Fig. 214, dient das Sonnenlicht zur Beleuchtung. Die auf einen beweglichen, gehörig geſtellten ebenen Spiegel A fallenden Sonnenſtrahlen werden nach ihrer Reflexion von einer großen Sammellinſe B aufgenommen, und durch dieſe in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. An den Ort desſelben bringt man den Gegenſtand, wenn er durchſichtig iſt. Die durch ihn gehenden Strahlen fallen auf die mikroſkopiſchen Linſen C, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglaſes übereinſtimmt. Gewöhnlich wendet man aber ſtatt Einer Beleuchtungslinſe, deren zwei an, Fig. 215, indem die von der größeren Linſe B convergent gemachten Sonnenſtrahlen durch eine zweite kleinere Linſe D noch mehr convergent werden, wodurch zugleich die Größe des beleuchteten Raumes MN geſteigert wird. Undurchſichtige Gegenſtände müſſen auf der den mikroſkopiſchen Linſen zugekehrten Seite beleuchtet werden, zu welchem Behufe man die durch die Beleuchtungslinſen vereinigten Strahlen mittelſt eines Spiegels dem, ſammt den mikroſkopiſchen Linſen etwas höher geſtellten Gegenſtande zuſendet. Bei dem Gasmikroſkope wird, wie Carry zuerſt gethan hat, das ſehr intenſive Licht, welches ein Stück friſch gebrannten Kalkes in der Flamme eines Gemiſches aus Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas verbreitet, zur Beleuchtung des Objectes benützt. Da hier nicht wie bei dem Sonnenlichte parallele, ſondern divergirende Strahlen auf die Beleuchtungslinſe fallen, ſo iſt bei der Anordnung des Beleuchtungsapparates darauf Rückſicht zu nehmen. Bei dem Lampenmikroſkope behilft man ſich zur Beleuchtung des Gegenſtandes mit einer guten Oehllampe, muß ſich aber auch mit einer geringeren Ausdehnung des Bildes begnügen, zu welchem Zwecke man die daſſelbe hervorbringenden Strahlen, durch eine oder mehrere größere Linſen G, H (Fig. 216) auf einen engern Raum zuſammendrängt, und das Bild mit einem transparenten Schirme auffängt. Fig. 216 zeigt die Anordnung der Beleuchtung eines undurchſichtigen Gegen-

ſtandes. C iſt eine ſehr convexe Linſe, welche von einer ſtarken Lampe A Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlſpiegel B ſendet, der ſo geneigt iſt, daß er es auf das Object E ſchickt, von welchem es zu den mikroſkopiſchen Linſen F gelangt. Das Megaſkop unterſcheidet ſich von den hier beſchriebenen Mikroſkopen bloß dadurch, daß es zur Darſtellung von Bildern größerer Gegenſtände beſtimmt iſt, daher ſtatt der mikroſkopiſchen Linſen eine Linſe von größerer Brennweite enthält, die keine ſo ſtarke Vergrößerung gewährt, vor welcher der gut beleuchtete Gegenſtand in verkehrter Lage ſteht.

Fernröhre.

83. Fernröhre (Teleſkope) braucht man, um entfernte Gegenſtände vergrößert zu ſehen. Sie werden, wie die Mikroſkope in dioptriſche und catoptriſche eingetheilt, d. i. in ſolche, die bloß aus Linſen, und in ſolche, welche aus Linſen und Spiegeln beſtehen. Große dioptriſche pflegt man Refractoren, große catoptriſche Reflectoren zu nennen. Ein dioptriſches Inſtrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Da der Zweck der Fernröhre derſelbe iſt, wie jener der Mikroſkope, ſo muß in ihrer Conſtruction viel Uebereinſtimmung herrſchen; allein da Mikroſkope zur Beſichtigung naher Gegenſtände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenſtand der Betrachtung durch Fernröhre ſind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angeſehen werden müſſen; ſo wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es ſey ein dioptriſches oder catoptriſches, muß man zwei Theile unterſcheiden, nämlich das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptriſchen iſt das Objectiv eine Convexlinſe, bei den catoptriſchen ein Hohlſpiegel.

84. Das Objectiv iſt der wichtigſte Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am ſchwerſten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen iſt. Es ſoll einen bedeutenden Durchmeſſer haben, um von jedem Punkte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasſtücke, wie ſie zu größeren Objectiven erfordert werden, ſind aber, beſonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erſcheint, ſchwer zu erhalten, und es gehört große Geſchicklichkeit dazu, großen Linſen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich ſeyn ſoll, ſo muß man die Linſe ſowohl von der chromatiſchen, als auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei machen und darum ſie durch eine Hohllinſe von Flintglas achromatiſiren und den einzelnen Flächen dieſer Doppellinſe die Krümmungen geben, welche nöthig ſind, um die ſphäriſche Abweichung auf ein Kleinſtes zu bringen. Dieſes wird bei großen Objectiven ohne Vergleich ſchwieriger ſeyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei dieſen vernachläßigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläſer,

die Entfernung der zwei Beſtandtheile der Doppellinſe ꝛc. Man kann nicht darauf rechnen, die ſphäriſche Abweichung durch Uebereinanderlegen zweier oder dreier achromatiſchen Linſen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch ſcheinen dreifache in mancher Beziehung beſondere Vorzüge zu haben. Bei jenen iſt das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich convex, das Flintglas aber nach innen und iſt convex-concav. Objective mit von einander ſtark abſtehenden Beſtandlinſen (dialytiſche Linſen) gewähren viele Vorzüge, weil man mit einem Flintglaſe ausreicht, das nur halb ſo viel Oeffnung hat, als das Crownglas, weil die Länge des Inſtrumentes geringer ausfällt und doch noch eine größere Bildſchärfe erzielt wird. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, ſo muß man alle Randſtrahlen durch eine Blendung abhalten und doch noch auf eine ſtarke Färbung des Bildes gefaßt ſeyn.

85. Nach Verſchiedenheit des Oculars, das man mit einem Objective verbindet, dienet das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verſchiedenen Zwecken und erhält auch verſchiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinſe und gibt ihr eine ſolche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenſtande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem Gegenſtande, der ſich in der deutlichen Sehweite befindet, ſo heißt das Inſtrument ein holländiſches oder galiläiſches. Iſt A (Fig. 217) das Objectivglas eines ſolchen Fernrohres, das von einem entfernten Gegenſtande Strahlen bekommt; ſo würde dieſes ein Bild a c b geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch dieſes Glas B werden aber, vorausgeſetzt, daß die Entfernung desſelben von a b etwas größer iſt, als ſeine imaginäre Brennweite, die Strahlen ſo gebrochen, als kämen ſie vom Bilde a' c' b'. Man wird daher den Gegenſtand in natürlicher Lage, und wenn ſich das Bild in der Sehweite des Auges befindet, auch deutlich ſehen. — Um die Vergrößerung m dieſes Inſtrumentes zu finden, muß man den Sehwinkel, unter welchem der Gegenſtand mit dem Inſtrumente erſcheint, mit dem vergleichen, unter welchem er ohne Inſtrument geſehen wird. Denkt man ſich das Auge an dem Platze des Objectivglaſes, ſo iſt der halbe Sehwinkel ohne Inſtrument b O c, und der mit dem Inſtrumente kann ohne Fehler für b O' c angenommen werden. Nun iſt aber

$$\textit{tang}\ \mathrm{bOc} = \frac{\mathrm{bc}}{\mathrm{Oc}},\ \textit{tang}\ \mathrm{bO'c} = \frac{\mathrm{bc}}{\mathrm{O'c}},\ \frac{\textit{tang}\ \mathrm{bO'c}}{\textit{tang}\ \mathrm{bOc}} = \frac{\mathrm{Oc}}{\mathrm{O'c}},$$

mithin weil b O c und b O' c nur kleine Winkel ſind

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{bO'c}}{\mathrm{bOc}} = \frac{\mathrm{Oc}}{\mathrm{O'c}}.$$

Wegen der ſehr großen Entfernung des Gegenſtandes vom Objectivglaſe kann O c der Brennweite p dieſer Linſe gleich geſetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglaſes p', und ſetzt man, weil O' c größer iſt als dieſe, $\mathrm{O'c} = \mathrm{p'} + \delta$, ſo hat man

$$m = \frac{p}{p' + \delta}.$$

Um die Größe von δ zu beurtheilen, bedenke man, daß die Axen der aus dem Oculare tretenden Strahlenkegel divergiren, mithin das Auge um an möglichſt vielen dieſer Strahlenbündel Antheil zu nehmen, dicht hinter dem Oculare ſtehen muß. Es wird alſo O′c′ der Sehweite gleich geſetzt werden dürfen, die wir mit h bezeichnen wollen. Schreiben wir nun, um die Formel (C) in 36 auf den vorliegenden Fall anzuwenden — O′c ſtatt a, — h ſtatt α, — p′ ſtatt p, ſo ergibt ſich die Gleichung

$$\frac{1}{O'c} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{h} = \frac{h - p'}{h\,p'}, \text{ d. h. } p' + \delta = \frac{h\,p'}{h - p'},$$

$$\text{alſo } \delta = \frac{p'^2}{h - p'}.$$

Iſt nun, was in der Regel Statt findet, die Brennweite des Ocularglaſes gegen die Sehweite ſehr klein, ſo kann δ als eine zu vernachläßigende Größe betrachtet werden, und es wird $m = \frac{p'}{p}$.

Die Vergrößerungszahl iſt daher unter den genannten Vorausſetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes. Streng genommen gilt aber dieſe Regel, wie aus dem Geſagten erhellet, nur für ein unendlich weitſichtiges Auge. Kleinere Werthe von h geben größere Werthe für δ; es müſſen daher Kurzſichtige das Ocular dem Objective mehr nähern, als Weitſichtige. Wegen der Divergenz der Axen, der aus dem Oculare kommenden Strahlenbündel hat ein ſolches Fernrohr immer nur ein ſehr kleines Geſichtsfeld. Deßhalb kann man es nur dann zu ſtärkerer (10—30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen conſtruirt worden, wie dieſes bei Plößl's ſogenannten Feldſtechern der Fall iſt, die im Verhältniß ihrer Größe Unglaubliches leiſten (Zeitſch. 8. 189). Es bleibt zwar ſelbſt bei der Anwendung eines achromatiſchen Objectives, die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerſtreuung übrig; allein dieſe bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge ſehr nahe am Ocularglaſe ſteht, wo die Strahlen nicht ſehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht immer für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglaſes dieſer Zerſtreuung ſo zu ſteuern, wie es beim Mikroſkope geſchah, um ſo mehr, da die minder (2—4mal) vergrößernden Inſtrumente dieſer Art meiſtens nur als Theaterperſpective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft iſt. Man kann ein Inſtrument mit mehreren Ocularen von verſchiedener Stärke verſehen und ſie an eine Drehſcheibe befeſtigen, damit man ſie ſchnell wechſeln und ſo hinter einander mehrere (3 oder 4) verſchiedene Vergrößerungen anbringen könne, wie dieſes ebenfalls an Plößl's Feldſtechern der Fall iſt.

86. Wird eine Convexlinſe zum Ocular gewählt, ſo erhält man das aſtronomiſche Fernrohr. Dieſes beſteht demnach aus einem convexen Objectivglaſe A (Fig. 218) und aus einem convexen Ocular-

glaſe B. Dieſe ſind geſtellt, daß das von einem entfernten Gegenſtande auf A fallende Licht zu einem verkehrten Bilde a b vereinigt wird und von da aus ſo ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild a′ b′ in der deutlichen Sehweite erſcheint. Man ſieht daher den Gegenſtand verkehrt und bei gehöriger Wahl des Oculars auch vergrößert. Zur Beſtimmung der Vergrößerung m kann man wieder annehmen, daß a o b der Sehwinkel des Gegenſtandes für das freie, und a o′ b für das bewaffnete Auge ſey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{tang\ a o' c}{tang\ a o c} = \frac{o c}{o' c} \text{ oder nahe } \frac{a o' b}{a o b} = \frac{o c}{o' c} = m.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglaſes, die man = o c ſetzen kann, p; jene des Ocularglaſes p′, und ſetzt man, da o′ c < p′ ſeyn muß, o′ c = p′ — δ, ſo wird

$$m = \frac{p}{p' - \delta},$$

oder in ſo fern man δ vernachläßigen darf,

$$m = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes. — Dieſe Inſtrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt conſtruirt, damit ſie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man ſie anwendet, ein ſtark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerſtreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglaſes, wie bei den Mikroſkopen aufheben, um ſo mehr, als dadurch zugleich auch das Geſichtsfeld vergrößert wird. Hinſichtlich desſelben gilt hier alles was in Betreff des Oculares eines zuſammengeſetzten Mikroſkopes geſagt wurde. Es ſtimmt auch die Einrichtung des Ocularapparates eines aſtronomiſchen Fernrohres mit jenen des Mikroſkopes in der Regel überein; nur für beſondere Zwecke bedient man ſich der von Ramsden zuerſt ausgeführten Einrichtung, bei der die vom Objectiv kommenden Strahlen erſt, nachdem ſie ein Bild geliefert haben, ins Collectivglas eintreten, mithin zwiſchen dieſes und das Ocular kein Bild fällt. Es werden nämlich oft bei ſolchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's, d. i. an den Platz des vom Objectiv herrührenden Bildes am Oculare feine Fadenkreuze oder Mikrometer eingeſetzt, um damit Objecte meſſen zu können. Ramsdens Ocular geſtattet die Vertauſchung desſelben mit einem anderen ſchärferen oder ſchwächeren, ohne Aenderung des Mikrometers, während bei der früheren Anordnung mit jedem Oculare ein beſonderes Mikrometer verbunden ſeyn muß. Bei ſehr ſtarken Vergrößerungen iſt man genöthigt auf das Collectiv gänzlich zu verzichten.

87. Um irdiſche Gegenſtände ſtark vergrößert und doch aufrecht zu ſehen, verbindet man mit dem Objective ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular, und nennt das daraus hervorgehende Fernrohr ein Erdfernrohr. Ein ſolches ſtellt Fig. 219 dar. Das Objectivglas

A macht von einem hinreichend entfernten Gegenſtande ein verkehrtes Bild a b; von dieſem fallen die Strahlen auf das erſte Ocularglas B, gelangen von dieſem auf das zweite C und auf das dritte und vierte D und E ſo, daß entweder hinter dem zweiten C oder hinter dem dritten ein aufrechtes Bild des Gegenſtandes entſteht, welches, durch die zwei oder durch die eine noch übrige Ocularlinſe angeſehen, in der deutlichen Sehweite erſcheint. Es dienen daher die Linſen B und C zur Umkehrung des Bildes, die Linſe D zur Achromatiſirung des vom Oculare E gemachten Bildes. Die Vergrößerung eines ſolchen Inſtrumentes hängt von dem Verhältniſſe der Brennweiten der einzelnen Linſen und von ihrer gegenſeitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demſelben Inſtrumente, ohne das Ocular zu verwechſeln, mehrere Vergrößerungen dadurch hervorbringen, daß man die Entfernung der Ocularlinſen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf nur die Lage der drei inneren Oculare gegen einander, nicht aber die des äußerſten gegen das Auge geändert werden, auch wird es für dieſe nur beſtimmte Lagen geben, wo ſie ihren Dienſt nicht verſagen. Derlei Oculareinrichtungen heißen Pancratiſche oder Kitſchiner'ſche. (Zeitſch. 4. 501.)

Das größte dioptriſche Fernrohr, welches bis jetzt verfertigt wurde, iſt der Fraunhofer'ſche Refractor zu Dorpat. Sein Objectiv hat 9 P. Z. Oeffnung und 160 Z. Brennweite, und vergrößert mit dem ſchärfſten Oculare 600mal. Er iſt zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreiſe wie ein Fixſtern herumgetrieben wird, ſo daß, wenn einmal ein Fixſtern in das Geſichtsfeld gebracht iſt, derſelbe ſtets darin bleibt, ohne einer Beihilfe des Beobachters zu bedürfen.

88. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatiſcher Linſen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichſt freie Bilder entfernter Gegenſtände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel ſtatt der Linſen. Auf dieſe Weiſe entſtanden die catoptriſchen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt ſind: nämlich das Herſchel'ſche, das Newton'ſche, das Gregory'ſche und das Caſſegrain'ſche.

89. Ein Fernrohr nach Herſchel's Art beſteht aus einem Hohlſpiegel AB (Fig. 220), der etwas gegen die Axe der Röhre, in welcher er ſich befindet, geneigt iſt und von weit entfernten Gegenſtänden ein verkehrtes Bild a b in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinſe C anſehen kann. Solche Inſtrumente müſſen ſehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend ſey.

Das große Inſtrument, womit Herſchel einen bedeutenden Theil ſeiner ſo wichtigen Entdeckungen machte, hat einen Hohlſpiegel von 4 Fuß Durchmeſſer und einer Brennweite von 40 Fuß; er wiegt 25 Centner. Dieſes Inſtrument vergrößert 7000mal und bringt 36500mal

mehr Lichte ins Auge, als von demſelben Objecte frei dahin gelangen würde.

90. Im Newton'ſchen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenſtande auf den großen Hohlſpiegel A B (Fig. 221) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen, von einem kleineren, gegen die Axe des erſteren unter 45° geneigten Planſpiegel C D, nach einer ſeitwärts angebrachten Converlinſe E reflectirt, ſo daß das verkehrte Bild des Gegenſtandes durch E angeſehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenſtände verkehrt zeigt und daß man zum Aufſuchen derſelben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptriſches Fernrohr (Sucher), das mit der Axe des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

91. Das Gregory'ſche Fernrohr (Fig. 222) vereiniget durch einen Hohlſpiegel A B die von einem entlegenen Gegenſtande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde a b. Von dieſem gelangen die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlſpiegel C D, werden da gegen den großen Spiegel reflectirt, in deſſen Mitte ſich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde c d vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Converlinſe E angeſehen werden kann. Dieſes Inſtrument zeigt zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt beider Spiegel ſehr an Deutlichkeit.

92. Um die große Abweichung wegen der Kugelgeſtalt, die im vorigen Inſtrumente Statt findet, zu vermindern, hat Caſſegrain ſtatt des kleineren Concavſpiegels einen kleinen Converſpiegel angebracht. Da ſind aber die Spiegel ſo geſtellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den converen fallen, als ſie zu einem Bilde vereiniget werden.

93. Das Ocular eines Fernrohres muß mit ſeinem Objective, es mag dieſes nun eine Linſe oder ein Spiegel ſeyn, ſo verbunden werden, daß ihre Axen in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingeſetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenſtandes angemeſſene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Inſtrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit ſie ſich zuſammenſchieben und bequem tragen laſſen. Größere kann man nicht mit Zugröhren verſehen, weil dieſe faſt nie völlig gerade ſind; ſelbſt wenige Zolle lange Zugröhren paſſen nur in einer gewiſſen Lage am beſten zuſammen, die darum oft mittelſt Sternchen bezeichnet iſt. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen verſehen. Bekommt ein ſolches Inſtrument ein Fadenkreuz, ſo muß dieſes an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Catoptriſche Inſtrumente werden faſt immer mit Metallfaſſungen verſehen und laſſen ſich nicht wohl als Taſchenfernröhre brauchen. Bei dieſen ſowohl als bei dioptriſchen Inſtrumenten muß das Ocular in Betreff der

Oeffnung und Brennweite zum Objective paſſen. Gewöhnlich iſt ſie eine Planconvexlinſe, nur bei dialytiſchen Fernröhren iſt ſie aus guten Gründen biconvex.

94. Ein Fernrohr iſt deſto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller ſeine Bilder ſind und je größer ſein Geſichtsfeld iſt. Jede einzelne dieſer guten Eigenſchaften läßt ſich aber nur auf Koſten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung ſteigern, ſo muß man bei demſelben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieſes muß aber eine kleinere Oeffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben ſoll, und wird darum ein kleineres Geſichtsfeld gewähren. Daß das Bild an Helligkeit verlieren müſſe, iſt für ſich klar, auch iſt es leicht einzuſehen, daß dieſe bei derſelben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectives wachſen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem beſtimmten Objective nur eine gewiſſe Vergrößerung.

Die vorzüglichſten Fernröhre ſind ohne Zweifel bis jetzt von Fraunhofer und Plößl verfertigt worden. Folgendes Verzeichniß enthält die Vergrößerungen, welche ſie bei den nebenſtehenden Objectivöffnungen in Linien ausgedrückt gewähren. F bedeutet ein Fraunhofer'ſches, P ein Plößl'ſches Inſtrument.

Objectivöffnung.	Vergrößerung.
21 F.	aſtron. 40, 60, terreſt. 28
24 P.	» 45, 75, » 34
27 F.	» 60, 90, » 40
28 P.	» 48, 70, 100, terreſt. 42
29 F.	» 60, 90, terreſt. 42
32 P.	» 55, 85, 127, terreſt. 48
34 F.	» 54, 84, 126, terreſt. 50, 70
36 P.	» 50, 80, 110, 140, terreſt. 48, 70
37 F.	aſtron. 64, 96, 144, 216 terreſt. 57, 80.
40 P.	aſtron. 55, 85, 125, 160 terreſt. 50, 80.
43 F.	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270 terreſt. 66.
44 P.	aſtron. 50, 80, 110, 180, 242 terreſt. 55, 90.
48 F.	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270 terreſt. 66.
48 P.	aſtron. 60, 90, 130, 180, 270 terreſt. 60, 100.
52 F.	aſtron. 64, 96, 144, 216, 324 terreſt. 82, 120.
78 F.	aſtron. 62, 93, 140, 210, 320, 470.

95. Zur Prüfung eines Fernrohres auf Deutlichkeit und Klarheit taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem

Grunde erſcheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtszeit, wohl auch weiße Punkte oder Scheibchen auf ſchwarzem Grunde bei hinreichender Tageshelle. Ihr Bild muß rein und ſcharf begrenzt erſcheinen, es mag in der Mitte des Geſichtsfeldes oder am Rande desſelben ſich befinden. Uebrigens ſoll ein gutes Fernrohr ſo beſchaffen ſeyn, daß man durch jeden Punkt des Objectives das Ocular ſieht, erſteres ſoll frei von Wellen ſeyn, wenigſtens nicht viele Blaſen haben und keine Farbenringe zeigen. Die Größe des Geſichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Geſichtswinkel des Gegenſtandes beſtimmt, den man auf einmal überſieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, ſieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenſtand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge, und ſchätzt, wie viele der mit freiem Auge geſehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erſcheint, fallen. Man wendet da mit Vortheil ein ähnliches Verfahren an, wie bei Mikroſkopen (80), indem man die Größe des Bildes einer in beſtimmter Entfernung mit freiem Auge geſehenen Linie mit dem derſelben Linie, durch das Fernrohr in gleicher Entfernung geſehen, vergleicht. (Jacquin in Zeitſch. 2. 101.) Endlich ſchließt man nicht ſelten aus der Größe der Lichtſcheibe, welche am Oculare bei voller Beleuchtung des Objectivs oder eines durch einen Schirm beſtimmten Theiles desſelben erſcheint, indem man letzteren durch erſtere theilt. Zum Meſſen dieſer Größe hat man eigene Inſtrumente. (Ramsden's Dynamometer oder Auzometer.)

Die Theorie des Dynamometers beruht auf einer allgemeinen Eigenſchaft jeder Zuſammenſtellung von Linſengläſern zu einem Fernrohre, die wir hier aus einander ſetzen wollen, wobei wir jedoch den Fall zum Grunde legen, daß ſämmtliche Linſen Sammellinſen ſeyen und die Strahlen bei jeder derſelben divergirend ein- und convergirend austreten, da jeder andere Fall bloß eine Aenderung des Zeichens der Brennweite, der Entfernung des Gegenſtandes, oder des Abſtandes des Bildes von der Linſe mit ſich führt. Es ſeyen Fig. 223, A, A', A'', A'' die Mittelpunkte der Linſen, HK das Bild welches ein ſehr entfernter Gegenſtand mittelſt der erſten Linſe A in ihrer Brennweite gibt; $H'K'$ das Bild dieſes Bildes mittelſt der zweiten Linſe A', $H''K''$ das Bild von $H'K'$ mittelſt der Linſe A'', welches mittelſt der Linſe A''', in deren Brennweite es ſich befinde, von einem weitſichtigen Auge betrachtet werde. Bezeichnen wir die Winkel, welche die den Bildern K, K', K'' eines außerhalb der Axe AA''' befindlichen Punktes des Gegenſtandes entſprechenden Hauptſtrahlen AK, KK', $K'K''$, $K''A'''$ mit der Axe machen, der Reihe nach durch ψ, ψ', ψ'', ψ''' und die Vergrößerungszahl durch m, ſo iſt $m = \frac{\psi'''}{\psi}$. Es ſey

$$AH = \alpha,\ A'H' = \alpha',\ A''H' = \alpha'' \text{ und}$$
$$HA' = a',\ H'A'' = a'',\ H''A''' = a'''$$

ſo iſt wegen der Kleinheit der Winkel ψ, ψ', ψ'', ψ''' (vergl. 86)

$$\frac{\psi'}{\psi} = \frac{\alpha}{a'},\ \frac{\psi''}{\psi'} = \frac{\alpha'}{a''},\ \frac{\psi'''}{\psi''} = \frac{\alpha''}{a'''}.$$

Das Product dieſer Ausdrücke gibt

$$m = \frac{\alpha\alpha'\alpha''}{a'a''a'''}.$$

Nun ſey MN (Fig. 224) ein in geringer Entfernung von der Linſe A aufgeſtellter Gegenſtand, M'N', M''N'', M'''N''', $M^{IV}N^{IV}$ die Reihe der demſelben in Bezug auf die Linſen A, A', A'', A''' entſprechenden Bilder, und

$$MA = b, \; M'A' = b', \; M''A'' = b'', \; M'''A''' = b'''$$
$$AM' = \beta, \; A'M'' = \beta', \; A''M''' = \beta'', \; A'''M^{IV} = \beta''';$$

ſetzen wir ferner den Quotienten $\frac{MN}{M^{IV}N^{IV}} = \mu$, ſo iſt wegen

$$\frac{MN}{M'N'} = \frac{b}{\beta}, \; \frac{M'N'}{M''N''} = \frac{b'}{\beta'}, \; \frac{M''N''}{M'''N'''} = \frac{b''}{\beta''}, \; \frac{M'''N'''}{M^{IV}N^{IV}} = \frac{b'''}{\beta'''}$$

wenn man das Product dieſer Ausdrücke bildet,

$$\mu = \frac{b\,b'\,b''\,b'''}{\beta\,\beta'\,\beta''\,\beta'''}.$$

Nun läßt ſich leicht zeigen, daß, wenn die Stellung der Linſen im zweiten Falle genau dieſelbe iſt, wie im erſten, die numeriſchen Werthe der Zahlen m und μ einander gleich ſind. Es iſt nämlich offenbar

$$\frac{m}{\mu} = \frac{\alpha\beta \, . \, \alpha'\beta' \, . \, \alpha''\beta''' \, . \, \beta'''}{b \, . \, a'b' \, . \, a''b'' \, . \, a'''b'''}.$$

Nennen wir die Brennweiten der Linſen A, A', A'', A''' der Reihe nach p, p', p'', p''', ſo beſtehen folgende Gleichungen:

$$\alpha = p \qquad\qquad \frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{p}$$
$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'} = \frac{1}{p'} \qquad\qquad \frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{p'}$$
$$\frac{1}{a''} + \frac{1}{\alpha''} = \frac{1}{p''} \qquad\qquad \frac{1}{b''} + \frac{1}{\beta''} = \frac{1}{p''}$$
$$a''' = p''' \qquad\qquad \frac{1}{b'''} + \frac{1}{\beta'''} = \frac{1}{p'''}.$$

Es iſt demnach

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha} \text{ folglich } \frac{1}{b} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\beta} \text{ und } \frac{\alpha\beta}{b} = \beta - \alpha;$$

ferner iſt $\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'}$, folglich

$$\frac{1}{b'} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{\alpha'} - \frac{1}{\beta'}; \; \frac{a' - b'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{\alpha'\beta'}$$

daher $\frac{\alpha'\beta'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{a' - b'}$. Eben ſo findet man

$$\frac{\alpha''\beta''}{a''b''} = \frac{\beta'' - \alpha''}{a'' - b''} \text{ und } \frac{\beta'''}{a'''b'''} = \frac{1}{b''' - a'''}.$$

Hieraus folgt $\frac{m}{\mu} = -\frac{(\beta - \alpha)\,(\beta' - \alpha')\,(\beta'' - \alpha'')}{(a' - b')\,(a'' - b'')\,(a''' - b''')}$.

Aber wegen der gleichen Abſtände der gleichnamigen Linſen in beiden Fällen iſt

$$\alpha + a' = \beta + b', \; \alpha' + a'' = \beta' + b'', \; \alpha'' + a''' = \beta'' + b'''$$

mithin

$$a' - b' = \beta - \alpha, \; a'' - b'' = \beta' - \alpha', \; a''' - b''' = \beta'' - \alpha''$$

daher $\frac{m}{\mu} = -1$ oder $m = -\mu$.

Der Gegenſatz der Zeichen kommt bloß von der entgegengeſetzten Lage der Bilder in beiden Fällen her. Die Gleichheit der Zahlwerthe von

m und μ beſteht auch dann noch, wenn man b unendlich klein annimmt, d. h. wenn das Object MN mit der Linſe A zuſammenfällt, oder dieſe Linſe oder ein beſtimmter Theil derſelben ſelbſt iſt, wie es der Gebrauch des Auxometers mit ſich bringt. So wie hier der Beweis der Gleichheit der Werthe von m und μ für vier Linſen gegeben wurde, läßt er ſich für jede andere Anzahl von Linſen führen.

96. Die dioptriſchen Inſtrumente haben ſchon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den catoptriſchen einen großen Vorzug; ſollen ſie aber in ſehr großem Maßſtabe verfertigt werden, ſo findet man ein bis jetzt unüberſteigliches Hinderniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasſtücke zu erhalten, während große Hohlſpiegel ohne Vergleich leichter zu haben ſind. Amici und Herſchel d. j. haben eine Vergleichung zwiſchen einem guten catoptriſchen und einem dioptriſchen Inſtrumente angeſtellt. Nach Amici leiſtet ein achromatiſches Fernrohr mit der Oeffnung 1 dasſelbe, was ein catoptriſches mit der Oeffnung $1^1/_3$ leiſtet. Nach Herſchel iſt dieſes Verhältniß 5:6, wenn das catoptriſche nur einen Spiegel hat, hingegen 7:10, wenn es mit zwei Spiegeln verſehen iſt.

Einige minder wichtige, optiſche Inſtrumente.

97. Außer den Mikroſkopen und den Fernröhren ſind noch der optiſche Kaſten, die dunkle Kammer (camera obscura), die helle Kammer (camera clara), die lichte Kammer (camera lucida) und die Zauberlaterne einer beſonderen Betrachtung werth.

98. Eine Vorrichtung, wodurch große, perſpectiviſche Zeichnungen mittelſt eines Converglaſes von 1—2 Fuß Brennweite angeſehen werden, wenn ſie ein wenig innerhalb der Brennweite ſtehen, heißt ein optiſcher Kaſten und wird zu den optiſchen Inſtrumenten gezählt.

99. Die dunkle Kammer (camera obscura) beſteht meiſtens aus einem Kaſten, in welchem das von einer Converlinſe (am beſten von einem Concavconverglaſe) gemachte Bild entfernter Gegenſtände, nachdem man ihm durch einen Spiegel eine bequeme Lage gegeben hat, auf einer weißen Fläche angeſehen werden kann. Fig. 225 ſtellt ein ſolches Inſtrument vor, wo A die Linſe, B der Spiegel iſt, der dem Bilde, welches auf der Platte C erſcheint, die gehörige Lage gibt. Fig. 226 ſtellt ein anders eingerichtetes Inſtrument dieſer Art vor. Man benützt es vorzüglich zum Copiren entfernter Gegenſtände. Iſt die Linſe bei der dunklen Kammer an der Vorderſeite eines Kaſtens befeſtiget und dieſer gegenüber ein Spiegel unter 45° gegen die Axe des Glaſes geneigt, ſo daß die von der Linſe gemachten Bilder in die Nähe des Deckels reflectirt werden, wo man ſie mit einer zweiten Converlinſe anſieht; ſo heißt die Vorrichtung eine helle Kammer (camera clara).

Chevalier erſetzt Linſe und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 227 einen Durchſchnitt angibt, und

welches an der Fläche AB eben, an der Fläche AC convex, an BC hingegen concav iſt. Fallen nun von einem fernen Gegenſtande Strahlen auf AC, ſo werden ſie wie in einer Linſe gebrochen, und in AB ſo reflectirt, daß ſie durch CB herkommen, und in D ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben.

100. Zu demſelben Zwecke dient auch die ſogenannte camera lucida. Sie beſteht aus einem Glasprisma ABDC (Fig. 228), welches man mit den gehörigen Winkeln dadurch erhält, daß man mit dem Halbmeſſer AB den Quadranten AD beſchreibt, ihn in C in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen AC und CD zieht. Das Viereck ABDC gibt dann den ſenkrechten Durchſchnitt des gläſernen Prisma's, das hinreichend groß iſt, wenn die Höhe BA = $\frac{1}{2}$ Zoll und die Länge 1 Zoll beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche AB wird mit einer geſchwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausſchnitt hat, um das Licht durchzulaſſen; das Ganze iſt mit einem Poſtamente verſehen, wie Fig. 229 zeigt. Iſt S ein leuchtender Gegenſtand, der Licht auf CD ſendet, ſo wird davon ein Theil nach AC und von da nach G reflectirt, ſo daß er in das in G befindliche Auge kommt. Man ſieht daher S in s. Befindet ſich nun in s ein weißes Papier, ſo kann wegen der Kleinheit des Inſtrumentes auch von dieſem Licht ins Auge kommen, und man wird zugleich den Gegenſtand S und das Papier und zwar jenen auf dieſem ſo ſehen, daß man ihn nachzeichnen kann. Dieſes artige Inſtrument erfand Wollaſton. Ein ſehr kleiner Planſpiegel leiſtet dieſelben Dienſte, wie die camera lucida.

Amici hat dieſem Inſtrumente folgende ſehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: ab (Fig. 230) iſt ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, cd ein metallener Planſpiegel, der gegen ab um 135° geneigt iſt. Sendet nun ein leuchtender Punkt S Strahlen auf cd, ſo werden ſie in A reflectirt, gelangen auf B, wo ſie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge C kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Punkte D, wo man S ſieht, und man kann daher daſelbſt leicht das Bild von S nachzeichnen.

101. Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig. 231). Sie beſteht aus zwei Sammelgläſern A und B. Vor dem erſten aber, innerhalb ſeiner Brennweite, ſteht ein transparentes auf Glas gemaltes Bild C, welches von einer ſtarken Flamme a, mittelſt eines Beleuchtungsſpiegels D erhellet wird. Das zweite Glas ſteht ſo, daß es ein großes Bild EF des Gegenſtandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Iſt dieſe Wand durchſcheinend, ſo kann man hinter ihr die Bilder der Gegenſtände vergrößert ſehen und auf dieſe Weiſe ſehr impoſante, phantasmagoriſche Phänomene hervorbringen.

Ueber optiſche Inſtrumente insbeſondere ſiehe: Klügel's Dioptrik. Leipzig. 1778. S. 158—251. Practiſche Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematiſche Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitſch. 3. 129. 285; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. *Teorica degli stromenti ottici di J. Santini.* 2 *Tom. Padova*, 1828. Ueber dieſen

Abſchnitt überhaupt ſiehe: *Newtoni optica. Lond.* 1719. 4. Smith vollſtändiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. *R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano*, 1785. *Nuovo trattato d'ottica di L. Nobili. Milano*, 1820. 8. *An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambridge*, 1823. 8. *Herschel on light London*, 1830. *Optics by Dr. Brewster. London*, 1831. Schmidt's Optik, herausgegeben von Goldſchmidt. Göttingen, 1834. Priſtley's Geſchichte der Optik. Leipzig, 1776. 4.

Neuntes Kapitel.

Doppelte Brechung und Polariſation des Lichtes.

102. Im ſiebzehnten Jahrhunderte entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Kryſtall von kohlenſaurem Kalk oder Kalkſpath, der wegen ſeines häufigen Vorkommens in Island isländiſcher Kryſtall genannt wird, die merkwürdige Eigenſchaft, Gegenſtände, welche durch ihn angeſehen werden, doppelt zu zeigen. Man heißt ihn daher und wegen ſeines blättrigen Gefüges, isländiſchen Doppelſpath. Bartholin überzeugte ſich bald, daß dieſe Erſcheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Kryſtalls auf das Licht hervorgebracht werde, und ſuchte die Geſetze derſelben näher zu beſtimmen. Es war aber erſt Huyghens vorbehalten, dieſe Geſetze ſo genau darzuſtellen, daß ſelbſt Wollaſton, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortſchritte der Wiſſenſchaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtigen vermochten. — Der Doppelſpath erſcheint gewöhnlich als eine von ſechs rhomboidalen Flächen begrenzte Theilgeſtalt. Da ſein Blätterdurchgang mit ſeinen Flächen parallel iſt, ſo läßt ſich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 232) daraus gewinnen, welches demnach ſeine Kerngeſtalt iſt. An dieſer Geſtalt kommen zwei einander entgegengeſetzte Ecken A und B vor, deren jede von drei gleichen, ſtumpfen Winkeln gebildet wird, deren Ebenen gegen einander gleich geneigt ſind; an jeder der ſechs übrigen Ecken finden ſich ein ſtumpfer und zwei einander gleiche ſpitzige ebene Winkel, und bloß zwei der drei Kantenwinkel ſind gleich. Wir wollen erſtere Ecken die ſtumpfen, die anderen die ſpitzigen nennen. Die Linie AB, welche mit den drei Kanten der ſtumpfen Ecke gleiche Winkel macht, iſt die Axe des Körperwinkels A. Sie fällt mit der durch die ſtumpfen Ecken des Rhomboeders gehenden Diagonale, welche die kryſtallographiſche Hauptaxe dieſer Geſtalt iſt, zuſammen. Die Axen aller rhomboedriſchen Theilungsgeſtalten, welche man ſich in einem Doppelſpathſtücke denken mag, ſind einander parallel; jede derſelben ſtellt ſich auch in optiſcher Hinſicht als eine Hauptlinie dar, und wird Axe der doppelten Brechung genannt. Demnach entſpricht jedem Punkte eines Doppelſpathſtückes eine ſolche Axe. Eine Ebene, welche der gemeinſchaftlichen Richtung der Axen parallel iſt und auf einer (natürlichen oder künſt-

lichen) ein Doppelſpathſtück begrenzenden Fläche normal ſteht, heißt ein Hauptſchnitt. Dieſer Begriff findet auch bei andern durchſichtigen Körpern Anwendung, denen eine Axe der doppelten Brechung zukommt.

103. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Oeffnung verſieht, und es auf eine Fläche des Doppelſpathes legt, dann durch die Oeffnung einen Lichtſtrahl leitet; ſo bemerkt man, daß derſelbe im Kryſtalle in zwei Bündel getheilt werde, d. h. die doppelte Brechung erleide. Noch beſſer ſieht man dieſes mit einem dreiſeitigen Prisma aus Doppelſpath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Eine genaue Betrachtung des Ganges der beiden Strahlen, welche aus einem nach verſchiedenen Richtungen auf den Doppelſpath fallenden Lichtſtrahle entſpringen, lehrt, daß einer derſelben ſich nach den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen richte, und zwar der Sinus ſeines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ſich verhalte wie 1.6543 zu 1, oder wie 1 zu 0.6045, während der zweite andere Brechungsgeſetze befolgt. Deßhalb heißt erſterer der gewöhnlich gebrochene oder ordentliche, letzterer der ungewöhnlich gebrochene oder außerordentliche Strahl.

Um die Geſetze der doppelten Brechung in dieſem Körper zu unterſuchen, empfiehlt Malus ein rechtwinkeliges, auf Papier oder Elfenbein verzeichnetes Dreieck ABC (Fig. 233), deſſen Seite BC viel kleiner iſt als AC. Sieht man dieſes durch einen Doppelſpath an, ſo erſcheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild A′C′ der Seite AC, die Hypotenuſe AB in D′ ſchneiden. Nimmt man nun AD = A′D′, ſo iſt klar, daß ein Strahl von D und einer von D′ beim Ausfahren aus dem Kryſtalle in die Luft ſich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Kryſtall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach D′, das andere nach D ginge. Da nun die Lage von D gegen D′, die Dicke des Kryſtalls und die Lage von AC gegen den Hauptſchnitt gegeben iſt; ſo braucht man nur noch den Einfallspunkt I des Strahles und ſeine Neigung gegen MN zu wiſſen, um den Erfolg der Brechung genau angeben zu können.

104. Durch zweckmäßig eingeleitete Beobachtungen überzeugt man ſich, daß die ungewöhnliche Brechung des Lichtes im Doppelſpathe nach folgenden Geſetzen vor ſich gehe: 1) Fällt ein Lichtſtrahl ſenkrecht auf eine Theilungsfläche des Doppelſpathes, wobei der gewöhnlich gebrochene Theil desſelben in unveränderter Richtung fortgeht, ſo wird der ungewöhnlich gebrochene um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den ſpitzen Winkel des Rhomboeders abgelenkt, doch ſo, daß er in dem durch den Einfallspunkt geführten Hauptſchnitte liegt. 2) Fällt ein Strahl ſchief ein, jedoch ſo, daß ſeine Einfallsebene die Lage eines Hauptſchnittes hat, ſo bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieſer Ebene, allein der Sinus des Einfallswinkels ſteht nicht zum Sinus des Brechungswinkels in einem conſtanten Verhältniſſe, ſondern dieſes ändert ſich mit dem Einfallswinkel; iſt die Einfallsebene gegen den Hauptſchnitt geneigt, ſo tritt der ungewöhnliche Strahl überdieß noch aus der Einfallsebene heraus, und wird gleichſam vom

Hauptſchnitte weggetrieben, und zwar deſto mehr, je mehr ſich der Winkel, den die Einfallsebene des Strahles mit dem Hauptſchnitte macht, einem rechten nähert. Iſt dieſer Winkel ein rechter, ſo bekommt dieſe Ablenkung vom Hauptſchnitte ihren größten Werth; dasſelbe zeigt ſich auch im Allgemeinen, wenn die Fläche des Doppelſpathes, welche das einfallende Licht trifft, keine natürliche Theilungsfläche, ſondern eine durch Anſchleifen des Kryſtalles erzeugte iſt. 3) Schleift man vom Kryſtalle ſolche Stücke weg, daß auf der Axe des Kryſtalls ſenkrechte Ebenen entſtehen, ſo wird ein Strahl, der ſenkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel geſpalten, noch überhaupt gebrochen. Schief einfallende Strahlen erleiden eine doppelte Brechung; da aber hier jede Einfallsebene eine Hauptſchnittsebene iſt, ſo bleibt der ungewöhnlich gebrochene Strahl ſtets in derſelben. 4) Iſt die künſtlich erzeugte Fläche des Doppelſpathes, auf die der Strahl fällt, der Axe des Kryſtalls parallel, und macht die Einfallsebene mit der Axe einen rechten Winkel, ſo gehorcht auch der ſonſt ungewöhnlich gebrochene Strahl den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, ſondern es verhält ſich auch der Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels ſtets wie 1.4833 zu 1 oder wie 1 zu 0.6742. Dieſes Verhältniß meint man, wenn von dem Brechungsverhältniſſe des ungewöhnlichen Strahles im Doppelſpathe die Rede iſt.

105. Iſt für ein Doppelſpathſtück die Lage der Axe gegeben, ſo läßt ſich der aus irgend einem einfallenden Strahle entſpringende gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochene Strahl mittelſt einer einfachen von Huyghens entdeckten geometriſchen Conſtruction finden. Ehe wir dieſelbe in ihrer Allgemeinheit vortragen, wollen wir ſie zuerſt an beſonderen Fällen zeigen, und zwar mit der Verzeichnung des gewöhnlich gebrochenen Strahles beginnen. Es ſey A (Fig. 234) der Punkt, in welchem der einfallende Strahl die Fläche des Doppelſpathes trifft, und B A C die Durchſchnittslinie der letzteren mit der Einfallsebene. Man beſchreibe in dieſer Ebene aus A als Mittelpunkt mit Halbmeſſern AF, AG, die ſich zu einander verhalten wie 1 zu 0.6045, im Innern der brechenden Subſtanz Halbkreiſe. Iſt nun SA die Richtung des einfallenden Strahles, ſo verlängere man ſie, bis ſie den größeren Halbkreis in H ſchneidet, ziehe zu dieſem Punkte die Tangente HK, welche der BC in K begegne, und von letzterem Punkte zu dem andern Halbkreiſe die Tangente KL. Die von A durch den Berührungspunkt L gezogene Gerade ALO gibt die Richtung des dem Strahle SA entſprechenden gewöhnlich gebrochenen Strahles an. Daß dieſelbe wirklich mit dem gewöhnlichen Brechungsgeſetze im Einklange ſteht, erhellet auf folgende Weiſe: Es ſey PAQ das Einfallsloth, ſo iſt wegen der rechten Winkel bei H und L der Einfallswinkel $SAP = AKH$ und der Brechungswinkel $QAO = AKL$. Die Dreiecke AKH, AKL geben

$\sin AKH : 1 = AH : AK$; $\sin AKL : 1 = AL : AK$, mithin
$\sin AKH : \sin AKL = AH : AL$ oder
$\sin SAP : \sin QAO = AF : AG = 1 : 0.6045$.

Es hat alſo hier wirklich der Sinus des Brechungswinkels zu jenem des Einfallswinkels das gehörige Verhältniß. Umgekehrt erhält man zu jeder Richtung A O des gebrochenen Strahles die des einfallenden, wenn man zu dem Durchſchnittspunkte L der A O mit dem kleinen Halbkreiſe die Tangente L K zieht, die den Punkt K in der B C anzeigt, von welchem die Tangente K H zum größeren Halbkreiſe auszugehen hat, deren Berührungspunkt H die Richtung des einfallenden Strahles S A H beſtimmt. Es iſt für ſich klar, daß dieſe Conſtruction in allen Fällen Anwendung findet, wo es ſich um gewöhnliche Brechung des Lichtes handelt, und man hat bloß darauf zu ſehen, daß der Quotient A F : A G dem Brechungsexponenten gleich gemacht werde. Iſt dieſer kleiner als 1, alſo A F < A G, ſo wird, ſobald der Punkt K, in welchem die dem einfallenden Strahle zugehörende Tangente H K die B C ſchneidet, zwiſchen F und G fällt, die Brechung unmöglich, und es ſtellt ſich die totale Reflexion ein.

106. Die Verzeichnung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles beruht auf einer Verallgemeinerung der ſo eben vorgetragenen Conſtruction. Wir wollen zuerſt annehmen, daß die Einfallsebene des Strahles S A (Fig. 235) zugleich eine Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes ſey, d. i. die Axe desſelben in ſich enthalte, welche die Lage A z habe. Man beſchreibe in dieſer Ebene aus A als Mittelpunkt mit einem beliebigen Halbmeſſer A F, wie vorhin einen Halbkreis, zugleich conſtruire man eine Ellipſe, deren Mittelpunkt A iſt, deren eine Hauptaxe in die A z, mithin deren andere Hauptaxe in die auf A z ſenkrechte A x fällt, und nehme die Dimenſionen derſelben ſo an, daß wenn A U, A V die Hälften dieſer Axen ſind, die Proportion

$$AU : AV : AF = 0.6045 : 0.6742 : 1$$

Statt findet. Iſt nun S A die Richtung eines einfallenden Lichtſtrahles, ſo verlängere man dieſelbe wieder, bis ſie den Halbkreis in H ſchneidet; ziehe zu H die Tangente H K, und von dem Durchſchnittspunkte K der letzteren mit der B C zur Ellipſe die Tangente K M. Die Gerade A M E, welche durch A und den Berührungspunkt M dieſer Tangente geht, iſt die Richtung des zum einfallenden Strahle S A gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Man erhält ſogleich auch die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles, wenn man aus A mit dem Halbmeſſer A U (der kleinen Halbaxe der Ellipſe, welche zu A F ſich verhält wie 0.6045 zu 1) in Folge des oben angegebenen Verfahrens einen Halbkreis beſchreibt, und aus K zu ihm eine Tangente führt. Der Berührungspunkt L derſelben beſtimmt die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles.

107. Stimmt endlich die Einfallsebene des Strahles S A (Fig. 236) nicht mit einer Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes überein, ſo befindet ſich die Axe der doppelten Brechung A z außerhalb der Einfallsebene. In dieſem Falle beſchreibe man wie früher (106) in der Einfallsebene mit einem beliebigen Halbmeſſer A F einen Halbkreis, und in einer willkürlichen durch die Axe A z gelegten Ebene die vorhin erwähnte Ellipſe mit denſelben Abmeſſungen wie in 106. Stellt

man ſich jetzt vor, dieſe Ellipſe drehe ſich um die feſte Linie A z, ſo entſteht ein Ellipſoid. Hat man nun für den einfallenden Strahl S A durch den Punkt H, in dem ſeine Verlängerung den Halbkreis trifft, die Tangente H K gezogen, und den Durchſchnittspunkt derſelben mit der Fläche B C des Doppelſpathes beſtimmt, ſo ziehe man durch dieſen Punkt K die auf die Einfallsebene ſenkrechte Gerade K R (oder was dasſelbe heißt, in der Ebene der vom Lichte getroffenen Doppelſpathfläche auf die B C, als Durchſchnitt der Einfallsebene mit dieſer Fläche, durch K eine Senkrechte), und lege durch K R zu dem Ellipſoide eine tangirende Ebene. Der Punkt M, in welchem die Berührung Statt findet, liegt in dem zu S A gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahle, wodurch die Richtung A M E desſelben bekannt iſt. Beſchreibt man mit dem Halbmeſſer A F eine Halbkugel, ſo iſt K R die Durchſchnittslinie der zu H gelegten Berührungsebene der Halbkugel mit der Doppelſpathfläche, die vom Strahle S A getroffen wird, welche Bemerkung auch dienen kann, die Lage von K R zu finden.

Dieſe allgemeine Conſtruction enthält, wie man leicht ſieht, diejenige, welche dem in einer Hauptſchnittsebene einfallenden Lichte entſpricht, als beſonderen Fall in ſich. Aus ihr folgt auch die in 104 4) angeführte Eigenthümlichkeit der ungewöhnlichen Brechung des Lichtes im Doppelſpathe. Steht nämlich die Einfallsebene auf der Richtung der Axe der doppelten Brechung ſenkrecht, ſo wird das Ellipſoid von ihr in einem Kreiſe geſchnitten, deſſen Halbmeſſer der größeren Halbaxe der das Ellipſoid erzeugenden Ellipſe gleichkommt, und der die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles beſtimmende Berührungspunkt befindet ſich ſtets in der Einfallsebene. Daher ſtimmt hier die ungewöhnliche Brechung mit der gewöhnlichen überein, nur iſt der Brechungsexponent dem reciproken Werthe der größeren Halbaxe der Ellipſe gleich.

Aus den Geſetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt ſich von allen Erſcheinungen am Doppelſpathe auf das Genaueſte der Grund angeben. Iſt z. B. A B C D (Fig. 237) ein Hauptſchnitt des Kryſtalls, E ein leuchtender Punkt, ſo wird unter den Strahlen, die er auf C D ſendet, einer ſeyn, deſſen gewöhnlich gebrochener Theil E F G das Auge O trifft, während ſein ungewöhnlich gebrochener Antheil E F g x für dasſelbe verloren geht; dafür wird es aber einen anderen Strahl E H geben, deſſen ungewöhnlich gebrochener Theil H I nach O gelangt, deſſen ordentlich gebrochener H i y aber ſeitwärts vorbeigeht. Das Auge ſieht daher den Punkt E zweimal und zwar in den Verlängerungen von O G und O I. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entſtandene Bild wird von D weiter entfernt ſcheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil ſich die Strahlen in K kreuzen. Aus dieſer Durchkreuzung erklärt ſich auch folgende Erſcheinung: Hält man einen isländiſchen Kryſtall ſehr nahe ans Auge, und ſieht damit auf einen Punkt ſo, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs des Hauptſchnittes hin; ſo wird derjenige Punkt zuerſt verdeckt erſcheinen, der vom Papier am weiteſten abſteht. Auf gleiche Weiſe erklärt man, warum eine mit dem Hauptſchnitte parallele Linie einfach geſehen werden kann; warum ſich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den

Kryſtall aus dieſer Lage um eine, auf die geſehene Linie ſenkrechte Axe dreht; warum überhaupt bei dieſem Drehen das außerordentliche Bild ſich um das ordentliche bewegt u. dgl. m.

Setzt man zwei gleiche dreiſeitige Priſmen A B C und B D C (Fig. 238) aus Doppelſpath zuſammen, die ſo geſchnitten ſind, daß die Brechungsaxe im erſten auf A B ſenkrecht iſt, im zweiten hingegen mit der Kante C parallel läuft; ſo wird ein Lichtſtrahl E F, der ſenkrecht auf A B fällt, im erſten Priſma weder geſpalten, noch überhaupt von ſeinem Wege abgelenkt. So wie er aber G trifft, wird ein Theil davon gerade nach H fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung G I K annehmen. Befindet ſich nun in H das Auge, ſo bekommt es nur den Theil G H des Lichtſtrahls E F, dafür erhält es aber von einem anderen Strahl E′ F′ den ungewöhnlich gebrochenen Antheil G′ I′ H. Wenn auch beide Strahlen von demſelben Punkte ausgegangen ſind, ſo ſieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach H E, das andere nach H E″. Dieſe zwei Bilder ſtehen bei übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr von einander ab, je näher ſich das Auge am Priſma befindet; bei einer beſtimmten Entfernung des Auges vom Priſma werden ſie ſich am Rande berühren. Dieſe Zuſammenſetzung macht zuerſt Rochon, und benützte ſie zu einem Mikrometer für Fernröhre. Wird nämlich ein auf die beſchriebene Weiſe verfertigtes Priſma zwiſchen dem Objectiv eines Fernrohres und ſeinem Brennpunkt angebracht, ſo ſieht man das Object doppelt, und die beiden Bilder ſtehen deſto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerpriſma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt iſt; bei einem beſtimmten Stande des Priſma's werden ſich aber beide Bilder am Rande berühren, und dieſer Ort wird deſto mehr von den Bildern entfernt ſeyn, je größer dieſelben ſind. Daher wird man daraus auf die ſcheinbare, und mittelſt bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe des Objectes ſchließen können.

Außer der doppelten Brechung gibt es im Doppelſpathe auch noch nach Umſtänden eine einfache oder doppelte Reflexion. Fällt ein Strahl A B (Fig. 239) in der Ebene des Hauptſchnittes auf den Kryſtall, ſo wird ein Theil desſelben gleich nach den gewöhnlichen Geſetzen der Reflexion zurückgeworfen, der andere dringt in den Kryſtall ein und wird in zwei Bündel geſpalten, wovon B C das gewöhnlich gebrochene, B C′ das ungewöhnlich gebrochene vorſtellt. In C und C′ wird ein Theil des Lichtes in die Luft übergehen, und dort eine mit A B parallele Richtung annehmen, ein anderer hingegen wird zurückgeworfen, und nach den Geſetzen der Reflexion die Richtung C D und C′D′ annehmen. Liegt aber A B nicht in der Ebene des Hauptſchnittes oder in einer ihr parallelen, ſo ereignet ſich alles wie vorhin, nur wird jeder der in C und C′ zurückgeworfenen Strahlen ſelbſt wieder in zwei Theile C D, C d und C′ D′, C′ d′ geſpalten, und es iſt gerade ſo, als wenn auf C und C′ zwei parallele Strahlen b C und b′C′ aufgefallen wären.

108. Das Phänomen der doppelten Brechung findet nicht bloß im Kalkſpathe Statt, ſondern man kann es als eine allgemeine Regel anſehen, daß alle durchſichtigen Kryſtalle, die nicht zu den vielaxigen gehören, das Licht doppelt brechen. In jedem ſolchen Körper heißt die gerade Linie, längs welcher keine doppelte Brechung erfolgt (104. 3), die Axe der doppelten Brechung, und eine Ebene, in welcher die Brechungsaxe liegt, der Hauptſchnitt. Beim Doppel-

ſpath iſt die Axe gegen die natürlichen Flächen des Kryſtalls ſtark geneigt, und die doppelte Brechung an und für ſich ſehr ſtark, darum bemerkt man ſie ſo leicht; bei den meiſten anderen doppelt brechenden Körpern hat die Brechungsaxe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf ſolche Flächen ſenkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja ſelbſt ſchief einfallende werden in zwei ſo wenig divergirende Lichtbüſchel getheilt, daß ſich bei der meiſtens nur geringen Dicke der Kryſtalle die beiden durch doppelte Brechung entſtandenen Bilder faſt decken und als ein Bild erſcheinen. Darum muß man ſolchen Kryſtallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künſtliche, gegen die Axe der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkryſtalle, der als Combination eines ſechsſeitigen Prisma's und einer ſechsſeitigen Pyramide erſcheint (Fig. 240), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenſtand durch cdmn und ghry anſieht. Schleift man aber ghry ſo weg, daß eine mit cbd parallele Fläche entſteht, ſo erſcheint das Phänomen einer doppelten Brechung recht deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechenden Kryſtalle erkennt man ſelbſt dann, wenn ſie zweckmäßig geſchnitten ſind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angeſehenen, ſcharfen Nadelſpitze.

109. Kryſtalle, nach deren Geſtalt es nur eine einzige Linie gibt, um welche die Flächen ſymmetriſch vertheilt ſind (d. h. jene, die nach Mohs ins rhomboedriſche oder pyramidale Syſtem, oder nach Weiß ins drei- und einaxige, und zwei- und einaxige Syſtem gehören), haben auch nur eine Axe der doppelten Brechung und zwar für Licht von jedem Grade der Brechbarkeit dieſelbe. Die ungewöhnliche Brechung erfolgt in allen dieſen nach demſelben Geſetze, auf alle iſt die in 107 angegebene geometriſche Conſtruction anwendbar, nur die numeriſchen Werthe der Brechungsexponenten oder die Dimenſionen der Ellipſe, durch deren Rotation das die Richtung des ungewöhnlichen Strahles beſtimmende Ellipſoid entſteht, variiren von einem zum anderen, und da zerfallen alle optiſch einaxigen Körper in zwei Klaſſen. Bei der einen, als deren Repräſentant der Doppelſpath gelten kann, iſt der Brechungsexponent für die ungewöhnliche Brechung bei Strahlen, welche gegen die Brechungsaxe geneigt einfallen, ſtets kleiner als jener für die gewöhnliche Brechung, die erwähnte Ellipſe rotirt um die kleinere Axe, es wird daher der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe gleichſam weggetrieben, abgeſtoßen. Bei Körpern der anderen Klaſſe, zu denen der Bergkryſtall gehört, iſt für die gegen die Axe geneigten Strahlen der Brechungsexponent des ungewöhnlichen gebrochenen Strahles größer als jener des gewöhnlich gebrochenen, die Ellipſe rotirt um die mit der Axe der doppelten Brechung zuſammenfallende größere Hauptaxe, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird zur Axe hingetrieben, angezogen. Man nennt darum die in die erſte Klaſſe gehörenden Körper abſtoßende, die in die zweite fallenden anziehende; oder weil man ſich vorſtel-

len kann, es beſtehe der Brechungsinder für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bei erſteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlich gebrochenen Strahl weniger einem mit der Neigung der Strahlen gegen die Are veränderlichen Antheil, bei letzteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlichen Strahl mehr einem veränderlichen Antheil; ſo heißt man jene auch negative, dieſe poſitive. Es iſt aber überhaupt das Verhältniß der zwei Brechungserponenten für die beiden, durch doppelte Brechung geſonderten Strahlenbüſchel, mithin auch die doppelt brechende Kraft nicht beſtändig, ſondern hängt von der Temperatur ab, und wird (nach Rudberg) kleiner, wenn die Temperatur ſteigt. (Brewſter in Gilb. Ann. 69. 1; Biot ebend. 65. 1; Rudberg in Pogg. Ann. 26. 291.)

110. Doppelt brechende Kryſtalle, deren Geſtalt mehr als eine Linie zuläßt, um welche die Flächen ſymmetriſch vertheilt ſind, haben zwei Aren der doppelten Brechung. (Sie gehören in die drei letzten Syſteme nach Mohs und Weiß. Siehe I. 123. Anm.) Dieſe Aren ſind ſtets gegen einander, und zwar für verſchieden brechbare Strahlen verſchieden geneigt, und die zu verſchiedenen Strahlen gehörigen Arenpaare liegen in verſchiedenen Ebenen, und zwar mit einander verglichen unſymmetriſch vertheilt, wie dieß nach Nörrenberg's Erfahrung bei dem Gipſe, nach Müller bei dem ameiſenſauren Kupferoxyde der Fall iſt. (Pogg. Ann. 35. 81; 472.) Sowohl ihre Neigung, als die Ebene, in welcher je zwei dieſer Paare liegen, ändert ſich mit der Temperatur; bei einer beſtimmten Temperatur können ſogar zwei oder mehrere Paare zuſammenfallen, und daher die Körper für die betreffenden Strahlen zu den einarigen gehören.

Guten Meſſungen zu Folge beträgt die Neigung der zwei Brechungsaren bei Salpeter 5° 20′, bei blauſaurem Kali 19° 24′, bei Lepidolith 45°, bei Schwerſpath 50°, bei Topas 65°, bei ſchwefelſaurem Eiſen 90°. Die Aren des weinſauren Kalinatrums ſind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76° gegen einander geneigt. Glauberit hat für rothes Licht zwei unter 5° gegen einander geneigte, für violettes aber nur eine Are. Die Aren des Gipſes fallen bei 73½° R. zuſammen, bei einer höheren Temperatur gehen ſie in einer auf den Hauptſchnitt ſenkrechten Ebene aus einander.

111. In Kryſtallen mit zwei Brechungsaren gibt es, genau genommen, gar keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, ſondern jeder der zwei Theile, in welche ein einfallender Strahl getheilt wird, befolgt Geſetze, die von den gewöhnlichen abweichen, doch iſt dieſe Abweichung für einen dieſer zwei Theile nur gering, und iſt deßhalb überſehen worden, bis Fresnel's ſorgfältige auf ſpäter anzugebende theoretiſche Gründe gebaute Unterſuchung das Vorhandenſeyn derſelben kennen lehrte. Wie Fresnel zeigte, kann die Lage der einem einfallenden Strahle entſprechenden gebrochenen Strahlen für zweiarige Kryſtalle durch eine der in 107 gewieſenen ähnliche geometriſche Conſtruction gefunden werden, ſtatt eines Umdrehungs-Ellipſoides muß man aber dabei eine aus zwei Abtheilungen zuſammengeſetzte, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen auch in rein geometriſcher Hinſicht merk-

würdige Fläche gebrauchen, deren Beſchaffenheit jedoch auf elementarem Wege keiner vollſtändigen Auseinanderſetzung fähig iſt. Es genügt hier zu bemerken, daß wenn man durch die beiden Axen, die wir hier, von der Farbenzerſtreuung abſehend, auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen, eine Ebene legt, der Durchſchnitt dieſer Fläche einen Kreis und eine Ellipſe darſtellt, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunkt (Fig. 241) mit jenem der Fläche zuſammenfällt. Die Hauptaxen der Ellipſe halbiren die Winkel der beiden optiſchen Axen; der Halbmeſſer des Kreiſes iſt kleiner als die größere, und größer als die kleinere Hauptaxe, ſo daß der Kreis die Ellipſe in vier Punkten A durchſchneidet. In der Gegend dieſer Punkte bildet die Fresnel'ſche Fläche trichterförmige Vertiefungen (Hörner), die in Spitzen auslaufen, an deren Enden ſich die genannten Punkte A befinden. Zieht man zu dem Kreiſe und zur Ellipſe eine gemeinſchaftliche Tangente wie BD, und legt durch dieſe eine Ebene, auf die Ebene des Schnittes, wodurch der Kreis und die Ellipſe erhalten wurden, ſenkrecht, ſo iſt erſtere Ebene eine Berührungsebene der Fläche, welche auf die zugehörige trichterförmige Vertiefung wie ein Deckel paßt, und ſämmtliche Berührungspunkte liegen in der Peripherie eines Kreiſes. Die Schnitte, welche ſenkrecht auf den hier betrachteten durch die beiden Axen der Ellipſe gehen, liefern gleichfalls Kreiſe und Ellipſen, aber bei dem einen umſchließt der Kreis die Ellipſe, bei dem andern die Ellipſe den Kreis. Die zwei Geraden BCB, welche durch den Mittelpunkt C der Fresnel'ſchen Fläche ſenkrecht auf die erwähnten Berührungsebenen an den Mündungen der Hörner gehen, ſind die wahren optiſchen Axen; die zwei Geraden ACA, welche durch den Mittelpunkt der Fläche zu den Spitzen A der Hörner gehen, können die ſcheinbaren optiſchen Axen genannt werden. Der Winkel, um welchen die ſcheinbaren Axen von den wahren abweichen, iſt in allen bekannten Fällen ſehr klein.

112. Auf der Anweſenheit der trichterförmigen Vertiefungen an der Fresnel'ſchen Fläche beruht die von Hamilton entdeckte und von Lloyd auf experimentalem Wege nachgewieſene coniſche Brechung, vermöge welcher ein gewiſſer in einen zweiaxigen Kryſtall eintretender, oder ein aus demſelben herausgehender Strahl in einen hohlen Strahlenkegel aufgelöſet wird. Erſtere heißt die innere, letztere die äußere coniſche Brechung. Entſpricht nämlich einem eintretenden Strahle zur Beſtimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen gerade jene Berührungsebene der Fresnel'ſchen Fläche, welche die Mündung eines Trichters ſchließt, ſo finden unendlich viele in der Peripherie eines Kreiſes liegende Berührungspunkte, mithin auch unendlich viele auf der Oberfläche eines Kegels vertheilte Strahlen Statt, welche, wenn die Austrittsfläche am Kryſtalle der Eintrittsfläche des Lichtſtrahles parallel iſt, beim Austritte einen Strahlencylinder geben, deſſen Baſis dem Querſchnitte des Kegels an der Austrittsfläche gleich, und deſſen Axe der Richtung des einfallenden Strahles parallel iſt. An der Spitze eines Hornes gibt es unendlich viele

Berührungsebenen der Fresnel'ſchen Fläche, deren jede auf einen anderen äußeren Strahl ſich bezieht, und alle dieſe Strahlen liegen in der Oberfläche eines Kegels. Dieſer Kegel würde ſich beim Eintreten in den Kryſtall auf einen einzigen Strahl reduciren, der in der Richtung einer ſcheinbaren optiſchen Axe fortginge, daher muß umgekehrt ein nach der Richtung einer ſolchen Axe austretender Strahl ſich in einen Strahlenkegel auflöſen. (Pogg. Ann. 28. 91.)

113. Außer den kryſtalliſirten Körpern bewirken auch Glas, das nach einer Seite zuſammengedrückt oder erhitzt und dann ſchnell abgekühlt worden iſt, ferner viele eingedickte, vegetabiliſche und thieriſche Subſtanzen doppelte Brechung. Ein vierſeitiges, rechtwinkeliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelſt einer kleinen eiſernen Preſſe nur mäßig zuſammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelſpitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus 9 Stücken zuſammengeſetzten und comprimirten Glasprisma, auf das er einen Lichtſtrahl leitete, zwei Bilder, die in der Diſtanz eines Meters um $1^1/_2$ Millimeter von einander abſtanden. Ein Glascylinder, der zur Rothglühhitze gebracht und dann mit ſeiner Cylinderfläche auf einer kalten Metallplatte hin- und hergerollt wird, erhält durch das ſchnelle Abkühlen eine poſitive Axe der doppelten Brechung, welche mit ſeiner geometriſchen Axe zuſammenfällt. Iſt dieſer Cylinder elliptiſch, ſo erhält er gar zwei Brechungsaxen. Dieſe Axen ſind aber von denen der kryſtalliſirten Körper weſentlich verſchieden. Solche Körper beſitzen in ihren kleinſten Theilchen dieſelbe doppelt brechende Kraft, und eine Brechungsaxe iſt nicht eine fixe Linie, ſondern eine fixe Richtung. Ein durch Abkühlen, Druck ꝛc. mit doppelt brechender Kraft verſehener Körper, hat in einer beſtimmten Linie das größte doppelt brechende Vermögen, und die Brechungsaxe liegt in dieſer, nicht aber in den mit ihr parallelen Richtungen, hat demnach eine beſtimmte Lage, nicht bloß eine beſtimmte Richtung.

114. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weiſe ein dreiſeitiges Prisma ſchleifen läßt, und einen Lichtſtrahl durchleitet; ſo wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben in vielen Fällen auf vollkommen gleiche, in beſonderen Fällen, z. B. bei dem oxalſauren Chromoxyd-Kali, auf verſchiedene Weiſe angeordnet ſind, und in welchen man auch die dunklen Linien (34) bemerken kann. Dieſe bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe des Brechungsexponenten für verſchiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerſtreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Verſuche dieſer Art haben gelehrt, daß die Farbenzerſtreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung geſpalten wird, dieſelbe Größe habe, und daß das Verhältniß der Zerſtreuung desſelben Strahles in beiden Farbenbildern in verſchiedenen Kryſtallen verſchieden ſey. (Pogg. Ann. 14. 45; 37. 317.)

115. Körper, welche das Licht einfach brechen, haben gewöhnlich, wenn ſie durchſichtig ſind, im durchgelaſſenen Lichte nach allen Richtungen dieſelbe Farbe; doppeltbrechende hingegen beſitzen nach ver-

ſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Färbung, d. h. Dichroismus. Dieſes rührt davon her, daß ſchon die zwei durch doppelte Brechung getrennten Strahlenbüſchel eine verſchiedene von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farbe haben, und daß auch in verſchiedener Richtung verſchiedenfarbige Strahlen abſorbirt werden. In der gelblichen Varietät des Doppelſpathes iſt das ungewöhnliche Bild längs der Axe ſtets von orangegelber, das gewöhnliche von gelblich weißer Farbe, und dieſer Farbenunterſchied der zwei Bilder wächſt mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe. Aehnliche Phänomene bemerkt man an vielen anderen doppelt brechenden Kryſtallen. Der Dichroit erſcheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf ſenkrechten Richtung hingegen blau ꝛc. Durch Temperaturänderung kann dieſer Dichroismus oft geſteigert werden. So z. B. fand Brewſter in einer Varietät des braſilianiſchen Topaſes, wo eines der zwei Strahlenbüſchel gelb, das andere braun erſchien, daß durch Rothglühhitze die Farbe des ungewöhnlichen Strahles ſehr, jene des gewöhnlichen faſt gar nicht afficirt wird.

116. Stellt man zwei Doppelſpathe ſo über einander, daß ihre Hauptſchnitte einander parallel ſind, ſo wird jener Theil eines einfallenden Lichtſtrahles, welcher im erſten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen, und derjenige, welcher im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet ſie auch im zweiten. Man ſieht daher durch beide Doppelſpathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenſtandes. Stehen die Hauptſchnitte beider Kryſtalle auf einander ſenkrecht, ſo erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man ſieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder anderen Lage der beiden Hauptſchnitte gegen einander wird ſowohl der im erſten Kryſtalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man ſieht daher vier Bilder. Dieſe haben eine gleiche Intenſität, wenn die beiden Hauptſchnitte um 45° gegen einander geneigt ſind; bei jeder anderen Neigung der Hauptſchnitte gegen einander, iſt ihre Intenſität verſchieden.

117. Ein Lichtſtrahl, der von Luft auf Glas fällt unter einem Winkel von 54° 35′ gegen das Einfallsloth, oder unter 35° 25′ gegen die Ebene des Glaſes, und dann durch einen Doppelſpath geht, erleidet nur die gewöhnliche Brechung, falls der Hauptſchnitt des Kryſtalls mit der Reflexionsebene parallel iſt; hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptſchnitt auf der Reflexionsebene ſenkrecht ſteht. In jeder anderen Lage des Hauptſchnittes gegen die Reflexionsebene erleidet der Strahl die doppelte Brechung, aber die beiden Strahlenbüſchel ſind nur dann gleich intenſiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt ſind. Macht man dieſen Verſuch mit den unter demſelben Einfallswinkel durch mehrere ebene Glasplatten geleiteten, alſo gebrochenen Theil des auffallenden Lichtſtrahles; ſo bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterſchiede,

daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weiſe, wenn dieſe Ebenen mit einander parallel ſind. Es erlangt daher der unter obigem Winkel von Glas reflectirte Strahl die Eigenſchaft des im Doppelſpath gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüſchel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt wird, und deren eines reflectirt, das andere gebrochen wird, verhalten ſich, wie die beiden durch doppelte Brechung von einander getrennten Theile.

118. Man kann dieſen Verſuch auch umgekehrt anſtellen, und ſtatt den von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahl auf einen Doppelſpath zu leiten, die ſchon in einem Doppelſpath in zwei Bündel getheilten Büſchel auf eine Glastafel auffallen laſſen. In dieſem Falle iſt es gut, wenn man ein achromatiſirtes Doppelſpathprisma anwendet, in welchem die zwei Strahlenbüſchel ſo ſtark divergirend gemacht werden, daß man jedes einzelne für ſich auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 25′ fallen; ſo wird ein Theil desſelben unverändert reflectirt, ein anderer durchgelaſſen, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptſchnitte des Kryſtalls parallel iſt, hingegen wird kein Theil des Strahles zurückgeworfen, ſondern derſelbe vollſtändig durchgelaſſen, oder (falls das Glas geſchwärzt iſt) abſorbirt, wenn dieſe beiden Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieſer wird bei oben angegebener Neigung gegen die Ebene des Glaſes vollſtändig durchgelaſſen oder abſorbirt, wenn die beiden obengenannten Ebenen mit einander parallel ſind. Stehen dieſe Ebenen auf einander ſenkrecht, ſo findet partielle Reflexion und Transmiſſion, jedoch ohne Aenderung der Beſchaffenheit des Strahles, Statt. Bei einer ſchiefen Stellung der Einfallsebene des einen oder des anderen der beiden doppelt gebrochenen Strahlen gegen den Hauptſchnitt des Doppelſpathes, mit oder ohne Veränderung des Einfallswinkels erfolgt, nebſt der theilweiſen Reflexion und Transmiſſion, noch eine Aenderung in der Beſchaffenheit des Strahles, die einer Drehung der Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes, der den Strahl geliefert hat, gleichgilt.

119. Es iſt nicht ſchwer, vorherzuſehen, wie ſich ein auf Glas unter 35° 25′ auffallender Strahl nach der Reflexion oder Brechung verhalten wird, wenn man ihn unter demſelben Winkel wieder auf eine Glasplatte auffallen läßt. Es wird nämlich der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden iſt, und unter demſelben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, zum Theil ungeändert reflectirt, zum Theil ungeändert durchgelaſſen, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläſern mit einander parallel ſind, hingegen vollſtändig und ungeändert durchgelaſſen, oder, falls das Glas geſchwärzt iſt, abſorbirt, wenn jene Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen; in jeder Zwiſchenlage aber, bei einer jeden Neigung gegen die zweite Glas-

platte wieder in verändertem Zuſtande zum Theile reflectirt, zum Theile durchgelaſſen oder abſorbirt. Das Gegentheil geſchieht mit dem durch mehrere auf einander gelegte Glasplatten gebrochenen Strahle. Die Eigenſchaften eines von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahles beſitzt auch ein ſolcher, der von irgend einem anderen Körper von nicht gar zu großem Brechungsvermögen unter einem beſtimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden iſt, und es wurde vorher nur das Glas angeführt, um einen beſonderen Fall vor Augen zu haben.

120. Aus dem bisher Geſagten geht hervor, daß ein Lichtſtrahl, welcher die doppelte Brechung erlitten hat oder unter einem beſtimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden iſt, Eigenſchaften beſitzt, die ſich nicht auf ſeine Richtung, ſondern auf ſeine Seiten beziehen; denn ſolche Strahlen haben offenbar nicht mehr auf jeder Seite dieſelbe Eigenſchaft, weil ſie bald die gewöhnliche, bald die ungeliche Brechung erleiden, bald nur zum Theile, bald gar nicht reflectirt werden, je nachdem die eine oder andere Seite in der Einfallsebene liegt oder dem Hauptſchnitte zugewendet iſt. Dieſe Eigenſchaft des Lichtes hat Malus, der ſie zuerſt am reflectirten und gebrochenen Lichte bemerkte, Polariſation desſelben, und einen damit verſehenen Strahl polariſirten Strahl genannt. Stellt Fig. 242 den Durchſchnitt eines polariſirten, cylindriſchen Lichtſtrahles vor, und AB, CD zwei auf einander ſenkrechte Durchmeſſer des kreisförmigen Querſchnittes; ſo muß man annehmen, der Strahl habe in A und B dieſelben, und C und D zwar wieder einerlei, aber den vorigen entgegengeſetzte Eigenſchaften. Jene Eigenſchaften, welche der in einem Doppelſpathe gewöhnlich gebrochene oder der von Glas unter 54° 25′ reflectirte Strahl in A und B hat, beſitzt der ungewöhnlich gebrochene oder der vom Glaſe unter dem gehörigen Winkel gebrochene Strahl in C und D. Deßhalb ſagt man: Die zwei Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung oder beim Uebergang von einem Mittel in ein anderes unter einem beſtimmten Winkel getheilt worden iſt, ſind unter einem rechten Winkel oder entgegengeſetzt polariſirt. Die durch AB und CD gehenden, längs der Richtung des Strahles gelegten, mithin auf ſeinem Querſchnitte ſenkrechten Ebenen heißen Polariſationsebenen. Da der Strahl hinſichtlich dieſer Ebenen verſchiedene Eigenſchaften beſitzt, ſo müſſen dieſelben von einander wohl unterſchieden werden. Dieß geſchieht dadurch, daß man eine derſelben für die eigentliche Polariſationsebene des Strahles erklärt. Welche dieſer zwei Ebenen aber man als die eigentliche Polariſationsebene des Strahles anſehen will, bleibt der Willkür anheim geſtellt, nur muß man, um große Verwirrungen zu vermeiden, die einmal getroffene Wahl unverändert feſthalten. Man iſt ſeit der Entdeckung der Polariſation des Lichtes allgemein darüber einig, die Einfallsebene eines durch Reflexion polariſirten Strahles als ſeine Polariſationsebene zu betrachten. Da nun, der Erfahrung zu Folge, der Polariſationszuſtand eines Strahles, der in einem einaxigen Kryſtalle die gewöhnliche Brechung erlitten hat, mit dem eines Strahles, der durch

Reflexion in einer mit dem Hauptſchnitte jenes Kryſtalls parallelen Ebene polariſirt worden iſt, übereinſtimmt, ſo iſt der Hauptſchnitt eines einaxigen Kryſtalls nothwendig die Polariſationsebene des gewöhnlich gebrochenen Strahles. Die Polariſationsebene eines Strahles, der in einem einaxigen Kryſtalle die ungewöhnliche Brechung erlitten hat, iſt mit der Polariſationsebene eines Strahles parallel, der durch Brechung in einer mit dem Hauptſchnitte jenes Kryſtalls parallelen Ebene polariſirt worden iſt, doch iſt dieſer Zuſtand dem vorhergenannten entgegengeſetzt, oder die genannten Polariſationsebenen ſchließen einen rechten Winkel ein. Zweiaxige Kryſtalle geben durch doppelte Brechung Strahlen, deren einer in der Ebene der beiden Axen, der andere ſenkrecht darauf polariſirt iſt. Eine in der Polariſationsebene eines Strahles auf deſſen Richtung ſenkrechte Gerade kann man die **Polariſationsrichtung** desſelben nennen.

Nach Brewſter (*Treat. on optics. London* 1831. *p.* 160) ſoll nur bei abſtoßenden Kryſtallen die Polariſationsebene des gewöhnlich gebrochenen Strahles mit der Ebene des Hauptſchnittes übereinſtimmen; bei anziehenden Kryſtallen aber, z. B. bei dem Bergkryſtalle, dieſe Polariſationsebene mit dem Hauptſchnitte einen rechten Winkel bilden, mithin der ungewöhnliche Strahl nach dem Hauptſchnitte polariſirt ſeyn. Allein Thatſachen, die keinem Zweifel unterliegen, widerſprechen dieſer Angabe. Siehe Biot's *Traité de physique T.* 4. *p.* 314.

121. Um die Phänomene der Polariſation nebſt den noch ſpäter abzuhandelnden bequem darſtellen zu können, muß man eine beſondere Vorrichtung, nämlich ein **Polariſationsinſtrument** haben. Sehr bequem iſt folgendes: Auf einem horizontalen Brete AB (Fig. 243) befindet ſich ein geſchwärzter ebener Glasſpiegel C, der gegen den Horizont um 54° 35′ geneigt iſt und zur Polariſation des Lichtes dient. Er erhält durch einen anderen Planſpiegel D Licht. Ueber jenem iſt an einem verticalen Träger E eine kurze Röhre oder ein Ring F angebracht, welche zur Aufnahme der Apparate beſtimmt iſt, durch die man die Eigenſchaften des polariſirten Lichtes unterſucht. Dieſe ſind ein Doppelſpath, ein ſchwarzer Planſpiegel aus Glas, und eine Anzahl über einander liegender ebenen Glasplatten oder eine polirte Metallplatte. Sowohl der Spiegel als die Platten paſſen in eine eigene Rahme G, die zwiſchen zwei metallenen Armen beweglich angebracht und an einem Ringe befeſtigt iſt, der ſich in den Ring F einſchieben und um die Axe derſelben drehen läßt. Ein Doppelſpath iſt in Form eines dreiſeitigen Prisma's, das durch ein Glasprisma achromatiſirt iſt, geſchnitten, und in einem durchlöcherten Deckel befeſtiget, der auf das obere Ende des Ringes F eben ſo paßt, wie der vorher genannte Ring. Zu einem beſonderen Gebrauche iſt zwiſchen dem Ringe F und dem Spiegel C ein horizontaler, durchbrochener Tiſch H angebracht, der ſich neigen und überdieß um eine auf ſeiner Ebene ſenkrechte Axe drehen läßt; auch kann man zur Abhaltung des ſtörenden Seitenlichtes an F eine Röhre ſetzen, und auch deren unteres Ende für gewiſſe Verſuche mittelſt eines paſſenden durchlöcherten Deckels ſchließen.

Statt des geſchwärzten Polariſationsſpiegels kann man, nach Nörrenberg, auch eine gegen den Horizont unter dem Winkel von 54° 35′ geneigte unbelegte Glasplatte C (Fig. 244) anwenden, unter der ſich ein gewöhnlicher Glasſpiegel M in horizontaler Lage befindet. Das auf die untere Fläche der Glasplatte nach der Richtung a b fallende Licht wird in polariſirtem Zuſtande vertical auf den Spiegel M geworfen, und von demſelben in entgegengeſetzter Richtung aufwärts geſendet; ein Theil desſelben geht durch die Glasplatte C hindurch, und gelangt zu den Apparaten, welche polariſirtes Licht aufzunehmen beſtimmt ſind. Dieſe Einrichtung gewährt in manchen Fällen Vortheile. (Ueber Seebeck's Apparat ſ. Zeitſch. 2. 451.)

122. Leitet man von einem gegenüberſtehenden Gegenſtande parallele Strahlen auf den Spiegel C, ſo werden ſie vollkommen polariſirt und fallen auf den Spiegel der Rahme G. Iſt dieſer unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation gegen den einfallenden Strahl geneigt und ſo geſtellt, daß die Einfallsebene mit der auf C parallel iſt; ſo ſieht man den Gegenſtand, der das Licht auf den Polariſationsſpiegel ſendet, oder die Oeffnung des unteren Deckels der Röhre, im reflectirten Lichte. Dreht man nun den Spiegel mit der Rahme G um die Axe der Röhre, ohne ſeine Neigung gegen den einfallenden Strahl zu ändern; ſo wird der vorhin im reflectirten Lichte deutlich erſchienene Gegenſtand immer dunkler und verſchwindet endlich ganz, wenn man den Spiegel um 90° gedreht hat, in welchem Falle ſeine Einfallsebene auf der von C ſenkrecht ſteht. Fährt man fort, den Spiegel nach derſelben Richtung zu drehen; ſo nimmt die Menge des reflectirten Lichtes wieder zu, der Gegenſtand erſcheint immer deutlicher, bis er nach einer Drehung von abermals 90°, wo beide Einfallsebenen wieder mit einander parallel ſind, ſeine erſte Lichtſtärke wieder erhält, und daher alles Licht reflectirt wird. Bei fortgeſetztem Drehen um neue 90°, tritt wieder der erſte, bei fernerem der zweite Fall ein, ſo, daß während einer vollen Umdrehung die Menge des reflectirten Lichtes zweimal ihr Maximum erreicht, und eben ſo oft = o wird. Nimmt man ſtatt des Spiegels in der Rahme G Glasplatten, ſo iſt der Erfolg derſelbe, wie vorhin, nur wird man bemerken, daß das Licht, welches ſich der Reflexion entzieht, durchgelaſſen wird, ſo daß der Gegenſtand im durchgelaſſenen Lichte am hellſten erſcheint, wenn die Reflexionsebene in C mit der in den Gläſern der Rahme G einen rechten Winkel einſchließt, hingegen am dunkelſten, wenn dieſe beiden Ebenen mit einander parallel ſind; auch wird die Menge des durchgelaſſenen Lichtes während einer vollen Umdrehung der Gläſer zweimal ihr Maximum und zweimal ihr Minimum erlangen. Wenn die Gläſer ſo ſtehen, daß ſie das wenigſte Licht durchlaſſen, und der Einfallswinkel des Lichtes durch Neigen der Rahme G geändert wird, ſo wächſt die durchgelaſſene Lichtmenge alſogleich. Am größten wird ſie, wenn die Strahlen ſenkrecht auffallen. Erſetzt man endlich die Rahme G durch den mit dem Doppelſpathprisma verſehenen Deckel, ſo ſieht man die Oeffnung des unteren Deckels durch den Doppelſpath nur einfach, ſobald die Reflexionsebene des Lichtes im Polariſationsſpiegel

mit dem Hauptſchnitte des Doppelſpathes parallel iſt. Dreht man den Deckel und hebt ſo dieſen Parallelismus auf, ſo erſcheint alſogleich das Bild der Deckelöffnung doppelt, aber die zwei Bilder haben eine ſehr ungleiche Intenſität. So wie man aber mit dem Drehen fortfährt, wächſt die Intenſität des ſchwächeren Bildes zuſehends und die des ſtärkeren nimmt ab, bis beide einander gleich ſind, welches dann erfolgt, wenn die Polariſationsebene gegen den Hauptſchnitt um 45° geneigt iſt. So wie man dieſe Neigung vergrößert, wird das vorhin ſchwächere Bild das intenſivere und umgekehrt, bis erſteres ganz verſchwindet und man wieder nur ein Bild ſieht, aber nicht dasſelbe, wie im vorhergehenden Falle. Dieſes tritt ein, wenn die Reflexionsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht. Bei fernerem Drehen des Doppelſpathes beginnt die ganze Reihe dieſer Erſcheinungen wieder von Neuem, ſo daß ſie bei einer vollen Umdrehung viermal, und zwar zweimal in derſelben, zweimal in umgekehrter Ordnung eintreten. Alle dieſe Erſcheinungen zeigen ſich am beſten bei bewölktem Himmel. Bei heiterem Himmel iſt das Licht gewöhnlich, beſonders an ſonſt hellen Orten, zu ſtark.

123. Wenn man die zwei entgegengeſetzt polariſirten Theile eines Lichtſtrahles, in welche derſelbe durch doppelte Brechung oder durch theilweiſe Reflexion und Brechung geſpalten worden iſt, wieder vereiniget, ſo geht daraus ein gewöhnlicher, nicht polariſirter Strahl hervor. Dieſes deutet an, daß ein gewöhnlicher Strahl aus zwei entgegengeſetzt polariſirten Hälften beſtehe, und daß der Act der Polariſation nur eine Trennung dieſer zwei Theile bewirke. Kann nämlich ein mit dem Hauptſchnitte eines doppelt brechenden einaxigen Kryſtalles parallel polariſirter Strahl in dieſem nur ordentlich, ein ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirter Strahl nur außerordentlich gebrochen werden, ſo folgt hieraus nothwendig die Sonderung eines Lichtſtrahles, der aus zwei entgegengeſetzt polariſirten Theilen betrachtet werden kann, in dieſe zwei Beſtandtheile durch die Einwirkung des Kryſtalles auf ihn. Iſt ferner eine Glasplatte unfähig, von einem ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Strahle, der ſie unter dem Neigungswinkel von 35° 25′ trifft, irgend einen Theil zu reflectiren, ſo kann bei dieſer Incidenz das von einem gewöhnlichen Lichtſtrahle herrührende Licht bloß in der Einfallsebene polariſirt ſeyn, und das durchgelaſſene Licht wird aus ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirtem Lichte, das mit einem geringen Antheile in der Einfallsebene polariſirten Lichtes gemengt iſt, beſtehen. Fällt dieſes auf eine zweite mit erſterer parallele Glasplatte, ſo enthält der durchgelaſſene Strahl noch weniger von dem in der Einfallsebene polariſirten Lichte, und dieſes wird, bei Anwendung einer hinreichenden Anzahl Glasplatten, endlich ganz unmerklich, ſo daß das durchgehende Licht lediglich aus ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Strahlen beſteht. Eine ſolche Trennung der im gewöhnlichen Lichte vorhandenen entgegengeſetzt polariſirten Theile kann auch durch Zerſtreuung oder Abſorption eines Theiles, ſo daß nur der andere zurückbleibt, bewerkſtelliget werden.

Durch Zerſtreuung wirkt eine Achatplatte, und zwar wird von einem darauf fallenden Lichtſtrahl in einer beſtimmten Lage der Platte ein polariſirter Theil, in einer anderen der andere Theil zerſtreut, während der zweite zurückbleibt. Durch Abſorption polariſirt der Turmalin. Ein Plättchen aus einem Turmalinkryſtall, das parallel mit der Kryſtallaxe geſpalten iſt, abſorbirt von einem darauf fallenden Strahl den ordentlich gebrochenen, nach der Richtung der Axe polariſirten Theil, und läßt den anderen, d. i. den außerordentlich gebrochenen, ſenkrecht gegen die Axe polariſirten, durch. Ein ſolches Plättchen iſt daher für darauf fallendes bereits polariſirtes Licht undurchſichtig, wenn die Polariſationsebene der Axe des Plättchens parallel iſt. Deßhalb geht durch zwei Turmalinplättchen, deren Axen ſich kreuzen, kein Licht durch, während ſie, wenn die Axen parallel ſind, Licht reichlich durchlaſſen. Es dürfen aber, damit dieſer Erfolg befriedigend eintrete, die Plättchen nicht zu dünn ſeyn. Betrachtet man einen ſchmalen hellen Gegenſtand durch ein dreiſeitiges Turmalinprisma, deſſen brechender Winkel klein iſt, und ſeine Kante mit der Kryſtallaxe parallel hat, ſo erſcheint der Gegenſtand doppelt, wenn das Licht nahe an dieſer Kante durch das Prisma geht; läßt man aber das Licht nach und nach durch Stellen gehen die von der Kante entfernt ſind, mithin eine größere Dicke haben; ſo wird das durch gewöhnliche Brechung entſtandene Bild dunkler, und verſchwindet zuletzt gänzlich. Eine Turmalinplatte iſt demnach ein treffliches Mittel, um in einer beſtimmten Richtung polariſirtes Licht zu erhalten, oder auch um zu prüfen, ob ein in das Auge eindringender Lichtbündel polariſirt ſey, und welche Lage deſſen Polariſationsebene habe. Noch anwendbarer iſt zu dieſem Zwecke Nicol's Doppelſpathprisma, worin einer der zwei durch doppelte Brechung entgegengeſetzt polariſirten Strahlen, nämlich der gewöhnlich gebrochene, weggeſchafft wird, während der ungewöhnlich gebrochene durchgeht, und für ſich zu weiteren Verſuchen gebraucht werden kann. (Sehr empfindliche Mittel zur Prüfung des Lichtes, hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes, werden ſich ſpäter ergeben.)

Nicol's Prisma kommt an Geſtalt einem natürlichen Doppelſpathrhomboeder ziemlich nahe. Man erhält es, wenn man die ſpitzigen Kantenwinkel eines kleinen Doppelſpathrhomboeders zu 68° zuſchleift, die neuen Flächen polirt, das Rhomboeder dann in zwei gleiche Theile theilt, durch einen Schnitt, der durch die ſpitzigen Kantenwinkel und die ſtumpfen Körperwinkel geht, und endlich die Schnittflächen durch Canadabalſam oder Terpentin wieder vereinigt. Fällt nun ein Strahl auf ein ſolches Prisma, ſo erleidet er in demſelben die doppelte Brechung; der gewöhnlich gebrochene Strahl, auf den die Balſamſchichte wie ein ſchwächer brechendes Mittel wirkt, erleidet an derſelben, der Schiefe der Incidenz wegen, die totale Reflexion, und wird ſeitwärts abgelenkt, während der andere Strahl, rückſichtlich deſſen die Balſamſchichte als ein ſtärker brechendes Mittel zu betrachten iſt, dieſelbe durchdringt. Der Parallelismus der Ein- und Austrittsfläche bewirkt die Achromatiſirung des durchgelaſſenen Lichtes. (Zeitſch. 6. 231.)

Iſt ein Turmalinplättchen parallel mit der Axe des Kryſtalls, von welchem es genommen wurde, geſchnitten, ſo läßt ſich die Lage ſeiner

optiſchen Axe jederzeit leicht angeben. Sieht man nämlich, das Plättchen vor das Auge haltend, gegen den Spiegel des Polariſationsinſtrumentes, oder auch nur in ſchiefer Richtung gegen eine geſchwärzte, vom Tageslichte beleuchtete Glasplatte, und dreht man dabei das Plättchen in ſeiner Ebene, d. h. um eine auf ſeiner Ebene ſenkrechte Gerade als Axe herum, ſo zeigt ſich das Geſichtsfeld während einer Umdrehung zweimal in größter Helligkeit und zweimal in größter Dunkelheit. So oft letzteres der Fall iſt, befindet ſich die optiſche Axe des Plättchens in der Reflexionsebene des Lichtes. Findet man, daß bei einer beſtimmten Stellung des Plättchens ein auf ſelbes ſenkrecht einfallender Lichtſtrahl gänzlich verſchluckt wird, ſo iſt dieſer polariſirt, und ſeine Polariſationsrichtung ſtimmt mit der Axe des Plättchens überein. Geſetzt, man habe ein dreiſeitiges Prisma aus Bergkryſtall, deſſen Seitenflächen mit der Kryſtallaxe parallel geſchnitten ſind, ſo aufgeſtellt, daß die Kante des brechenden Winkels horizontal und abwärts gekehrt iſt, und man betrachte damit einen etwas entfernten horizontalen weißen Papierſtreifen. Man erblickt unter dem Gegenſtande zwei über einander geſtellte, wegen der Farbenzerſtreuung gefärbte, jedoch deutlich getrennte Bilder, die beide [(ſiehe 104, 4)] nach den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung des Lichtes entſtehen. Da die ungewöhnliche Brechung im Bergkryſtalle anziehend erfolgt, ſo iſt im vorliegenden Falle der Brechungsexponent für den ordentlichen Strahl kleiner als für den außerordentlichen; demnach entſpricht das höher ſtehende Bild der ordentlichen, das tiefere der außerordentlichen Brechung des Lichtes. Bringt man nun ein Turmalinplättchen zwiſchen das Prisma und das Auge, und befindet ſich die Axe desſelben in einer Verticalebene, d. h. in der Stellung, in der das von einer horizontalen geſchwärzten Platte ſchief kommende Licht aufgehalten wird, ſo verſchwindet das tiefere Bild. Dreht man das Turmalinplättchen um 90°, ſo erſcheint dieſes wieder, und es verſchwindet das höhere Bild. Es ſind demnach die Strahlen, welche das höhere Bild geben, parallel mit der Kante des Prisma's, folglich parallel mit der Axe des Bergkryſtalls, d. h. im Hauptſchnitte, die Strahlen dagegen, denen das tiefere Bild gehört, ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt. Hieraus ergibt ſich die Folgerung, daß auch im Bergkryſtalle die gewöhnlich gebrochenen Strahlen im Hauptſchnitte, die ungewöhnlichen ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt ſind. (Vergl. 120 Anm.) Hiernach läßt ſich auch ſehr leicht erkennen, ob eine doppelt brechende Subſtanz, aus der man ein Prisma geſchliffen hat, auf das Licht attractiv oder repulſiv wirke.

Ein Turmalinplättchen, oder beſſer wegen der größeren Durchſichtigkeit und Farbloſigkeit ein Nicol'ſches Prisma, kann bei manchen Unterſuchungen mit großem Vortheile gebraucht werden, um einen Theil des ins Auge eindringenden Lichtes wegzuſchaffen. Belegt man z. B. eine farbige Glastafel an der Rückſeite mit Spiegelfolie, ſo gibt ein davor gehaltener ſchmaler undurchſichtiger Gegenſtand zwei lebhaft und complementär gefärbte Bilder. Das zur Farbe der Glastafel complementäre Bild gehört (durch Contraſt mit dieſer Farbe) dem weißen Lichte, welches von der Vorderfläche der Tafel an derjenigen Stelle reflectirt wird, wohin kein von der Hinterfläche reflectirtes gelangen kann, weil der undurchſichtige Gegenſtand gewiſſes Licht, von dem ſonſt ein Theil bis zur Hinterfläche eingedrungen wäre, von der Tafel gänzlich abhält. Die Richtigkeit dieſer Anſicht wird über jeden Zweifel erhoben, wenn man das von der Vorderfläche des Glaſes reflectirte, mithin polariſirte Licht mittelſt eines gehörig gerichteten Nicol'ſchen Prisma's von dem Auge ausſchließt, während das von

der metalliſchen Rückwand kommende durch das Prisma hindurchgeht. Da verwandelt ſich das complementäre Bild in einen farbloſen Schatten. (Dove in Pogg. Ann 45. S. 158.)

Eine intereſſante Anwendung dieſes Wegſchaffens des polariſirten Lichtes auf das deutlichere Sehen von Gegenſtänden, die unter Waſſer ſich befinden, hat Arago angegeben. Es überwiegt nämlich das von der Oberfläche des Waſſers durch Spiegelung in das Auge kommende Licht, ſeiner großen Intenſität wegen, den Eindruck, den das aus dem Waſſer ſpärlich heraustretende hervorzubringen vermag, dergeſtalt, daß letzterer gänzlich verwiſcht wird. Aber das von oben auf die Waſſerfläche fallende Licht wird an ſelber, wenn der Neigungswinkel ſeiner Richtung gegen dieſe Fläche nahe 37° beträgt, durch Reflexion polariſirt. Sieht man daher nach dieſer Richtung mit freiem Auge oder mittelſt eines Fernrohres gegen das Waſſer, und läßt man das dem Auge zugeſendete Licht vorher durch ein ſchicklich angebrachtes Turmalinplättchen oder Nicol'ſches Prisma gehen, ſo wird alles von der Waſſerfläche reflectirte Licht ausgeſchloſſen, und man erhält lediglich die aus dem Waſſer hervorkommenden Strahlen. Welchen Nutzen dieß den Schiffern gewähren kann, iſt für ſich klar.

124. Das kleinſte Stück eines doppelten brechenden Körpers vermag einen ſehr intenſiven Strahl vollkommen zu polariſiren; zur vollkommenen Polariſation durch Reflexion oder Brechung gehört aber nicht bloß ein beſtimmter Einfallswinkel, ſondern bei letzterer auch ein Strahl, deſſen Intenſität eine gewiſſe Größe nicht überſchreitet. Der Winkel, unter welchem ein Strahl einfallen muß, damit er durch Reflexion vollkommen polariſirt werde (Polariſationswinkel), iſt bei einfach brechenden Körpern immer derjenige, für welchen der gebrochene Antheil auf dem reflectirten ſenkrecht ſteht, oder deſſen Tangente dem Brechungsexponenten gleich iſt. Er hängt demnach vom Brechungsvermögen der zwei an einander grenzenden Mittel ab, und iſt daher für verſchiedenfarbiges Licht verſchieden. In Mitteln von nicht gar großem Brechungsvermögen, wie z. B. in Waſſer, Glas ꝛc. iſt dieſer Unterſchied nicht ſehr bemerkbar, wohl aber in ſolchen, deren Brechungsvermögen bedeutend iſt, wie z. B. in Diamant, Caſſiaöhl, Schwefelalkohol. In doppelt brechenden Körpern iſt das Geſetz, nach welchem ſich der Polariſationswinkel richtet, ſehr complicirt, doch gibt es auch da eine Richtung, in welcher obiges Geſetz herrſcht und der Polariſationswinkel von der doppelt brechenden Kraft unabhängig iſt. (A. Seebeck in Pogg. Ann. 21. 311; 22. 126.)

Aus obigem Geſetze erklären ſich mehrere intereſſante Erſcheinungen: z. B. warum man es bei ſtarker Beleuchtung nie dahin bringen kann, daß der Gegenſtand, welcher das Licht auf den Polariſationsſpiegel ſendet, im Unterſuchungsſpiegel gar nicht geſehen wird, wenn auch nach der Theorie gänzliche Dunkelheit herrſchen ſoll; eben ſo warum ſelbſt bei mäßiger Lichtſtärke da, wo alles dunkel ſeyn ſoll, ein ſchwaches röthlich blaues Licht vorhanden iſt (weil nämlich der Polariſationswinkel eigentlich nur den Strahlen von mittlerer Brechbarkeit entſpricht); ferner warum in dem Falle, wenn der Gegenſtand im Unterſuchungsſpiegel kaum wahrnehmbar iſt, derſelbe alſogleich ſichtbar wird, wenn man den Polariſationsſpiegel anhaucht. — Zur vollkommenen Polariſirung durch Brechung braucht man nicht bloß einen

beſtimmten Einfallswinkel, und zwar denſelben wie für die Polariſirung durch Reflexion, ſondern überdieß auch noch eine der Lichtſtärke angemeſſene Anzahl von Brechungen.

Da alle durchſichtigen und ſehr viele undurchſichtige Körper das Licht zu polariſiren vermögen, ſo darf man ſich nicht wundern, daß das meiſte Licht ſchon ohne unſer Zuthun polariſirt zu uns komme. Das uns vom heiteren Himmel oder von Wolken zugeſendete, das ſchief durch unſere Fenſtergläſer gehende, das von Mauern, Käſten ꝛc. reflectirte Licht trägt ſchon deutliche Spuren der Polariſation an ſich; ſelbſt das Licht, welches brennende Körper ausſenden, fand Arago zum Theile polariſirt, wenn dieſe feſt oder tropfbar flüſſig waren, nur bei gasförmigen konnte er keine Spur einer Polariſation entdecken.

125. Fällt ein polariſirter Lichtſtrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine geſchwärzte Glasplatte, und ſtimmt die Polariſationsebene desſelben mit der Einfallsebene überein, oder bilden dieſe Ebenen einen rechten Winkel, ſo trägt der reflectirte Strahl genau die Beſchaffenheit des einfallenden an ſich; er iſt wie dieſer polariſirt, und nur hinſichtlich der Intenſität von ihm verſchieden. Iſt aber die Polariſationsebene des einfallenden Strahles unter einem ſchiefen Winkel gegen die Einfallsebene geneigt, ſo erſcheint der reflectirte Strahl auch noch als ein polariſirter, allein ſeine Polariſationsebene macht, den Fall der ſenkrechten Incidenz ausgenommen, mit der Einfallsebene einen andern Winkel als vor der Reflexion. Dasſelbe gilt auch bei der Reflexion des polariſirten Lichtes von Waſſer und andern durchſichtigen Medien. Man kennt das Geſetz dieſer Drehung der Polariſationsebene durch Reflexion an der Oberfläche einfach brechender Subſtanzen genau. Iſt nämlich a der Einfallswinkel des polariſirten Strahles, b der Brechungswinkel für das in die durchſichtige Subſtanz eindringende Licht, φ der Winkel, den die Polariſationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene macht, ψ dieſer Winkel für das reflectirte Licht, ſo beſteht die von Fresnel aufgeſtellte Gleichung:

$$tang\,\psi = tang\,\varphi \cdot \frac{cos\,(a+b)}{cos\,(a-b)}.$$

Die Richtigkeit derſelben wurde beſonders von Brewſter durch zahlreiche Verſuche bewieſen.

Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit dem in ein einfach brechendes Medium eindringenden Theile eines polariſirten Lichtſtrahles. Auch hier findet im Allgemeinen eine Drehung der Polariſationsebene Statt. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und nennen wir den Winkel, den die Polariſationsebene des gebrochenen Strahles mit der Einfallsebene macht, ω, ſo gilt die gleichfalls von Brewſter ſcharf geprüfte Gleichung

$$tang\,\omega = \frac{tang\,\varphi}{cos\,(a-b)},$$

aus welcher ſich alle hier vorkommenden Einzelnheiten leicht entnehmen laſſen.

126. Ein gewöhnlicher Lichtſtrahl, der auf einen Körper unter einem Winkel auffällt, der größer oder kleiner iſt als der Polariſa-

tionswinkel, erſcheint nach der Reflexion oder Brechung nicht als ein polariſirter, dieß Wort in der bisher gebrauchten Bedeutung genommen, denn er gibt mittelſt eines Doppelſpathes ſelbſt dann noch zwei Bilder, wenn der Hauptſchnitt des letzteren mit der Einfallsebene parallel iſt, doch ſind dieſe zwei Bilder nicht wie beim unpolariſirten Lichte gleich hell, ſondern eines überwiegt das andere an Helligkeit deſto mehr, je näher der Einfallswinkel auf den reflectirenden oder brechenden Körper dem Polariſationswinkel ſteht. Ein ſolcher Strahl hat demnach zum Theile die Eigenſchaften eines gewöhnlichen, zum Theile jene eines polariſirten an ſich, und heißt deßhalb unvollkommen polariſirt. Betrachtet man das gemeine Licht als zuſammengeſetzt aus zwei rechtwinkelig polariſirten Hälften, und unterſucht die Drehung der Polariſationsebene einer jeden, ſo läßt ſich einſehen, wie es kommt, daß ein ſogenannter unvollkommen polariſirter Strahl durch mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Brechungen unter Winkeln, die vom Polariſationswinkel abweichen, zu einem vollkommen polariſirten wird, und Brewſter's Annahme rechtfertigen, derſelbe beſtehe aus zwei Hälften, die unter einem ſtumpfen oder ſpitzigen Winkel polariſirt ſind, während ein natürlicher Strahl zwei unter 90° polariſirte Hälften hat. Uebrigens kann man ſich in vielen Fällen der Bequemlichkeit wegen erlauben, einen unvollkommen polariſirten Strahl als ſolchen zu betrachten, der aus vollkommen polariſirten und aus unpolariſirten Theilen beſteht. Eine vollſtändige Aufklärung dieſes Gegenſtandes iſt aber ohne theoretiſche Principien über die Natur des Lichtes kaum möglich, daher es für jetzt genügen mag die Sache angedeutet zu haben. (Zeitſch. 8. 494; Pogg. Ann. 19. 259, 281.)

127. Fällt ein gemeiner Lichtſtrahl auf eine durchſichtige (nicht geſchwärzte) Platte ſchief auf, und iſt der Einfallswinkel jener der vollkommenen Polariſation, ſo thut das an der Hinterfläche ein oder mehrere Male reflectirte Licht der Reinheit des Polariſationszuſtandes des von der Vorderfläche zurückgeworfenen Lichtes keinen Eintrag, weil nach dem in 124 ausgeſprochenen Geſetze der gebrochene Strahl die Hinterfläche und jeder von der Hinterfläche reflectirte die Vorderfläche unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation trifft. Anders verhält ſich aber die Sache bei anderen Einfallswinkeln. Da beſteht ſowohl der durchgelaſſene als der reflectirte Antheil aus verſchieden polariſirtem Lichte, eben weil die Reflexion nicht bloß an der erſten Fläche, ſondern auch an der Hinterfläche vor ſich geht, und der reflectirte Strahl nicht bloß ſolche Theile enthält, die an der erſten Fläche reflectirt werden, ſondern auch andere, die zwei Brechungen und eine Reflexion an der Hinterfläche erlitten haben; mit dem durchgelaſſenen iſt etwas Aehnliches der Fall. Da jede Brechung und jede ſchiefe Reflexion polariſirend wirkt, und der durch Brechung erzeugte Polariſationszuſtand von dem durch Reflexion hervorgebrachten verſchieden iſt; ſo muß daraus ein eigenthümlicher Zuſtand hervorgehen, der davon abhängt, ob die Wirkung der Brechung oder jene der Re-

flexion das Uebergewicht habe. Zur näheren Analyſe dieſer ſcheinbar ſehr complicirten Modification braucht man am beſten ein Glasprisma (Fig. 245), welches ſo geſchnitten iſt, daß der auf die Fläche a b ſchief einfallende Strahl S c nach der Brechung in c und der Reflexion in d ſenkrecht aus a e austritt, weil hiedurch der Polariſationszuſtand des Strahles nicht geändert wird. Unterſucht man den Polariſationszuſtand des Strahles d x mittelſt eines Doppelſpathes, und vergleicht ihn mit demjenigen, welchen er durch Brechung in c erhalten haben muß; ſo erfährt man die Verſetzung ſeiner Polariſationsebene durch die Reflexion in d. Setzt man auf die Fläche a e ein Stück a g e, um das Prisma zu einem rechtwinkeligen Parallelepiped zu machen, unterſucht dann den austretenden Strahl h y neuerdings, und vergleicht ſeinen Polariſationszuſtand mit dem vorhergehenden, ſo erfährt man auch den Einfluß der Brechung in h. Durch Unterſuchungen dieſer Art fand Brewſter folgendes Geſetz: Ein Lichtbüſchel, der nach zwei Brechungen und einer Reflexion an der Hinterfläche einer durchſichtigen Platte ins Auge kommt, enthält bei jedem Einfallswinkel von 0° bis zu einer beſtimmten, vom Brechungsvermögen der Platte abhängigen Größe einen Antheil, welcher in der Reflexionsebene polariſirt iſt, und es hat daher bis zu dieſer Grenze die Reflexion das Uebergewicht über die Brechung; bei dieſem Grenzwerthe des Einfallswinkels hat der Strahl ſeinen natürlichen Zuſtand und die Brechung hält der Reflexion das Gleichgewicht, über denſelben hinaus hingegen enthält der Strahl einen ſenkrecht auf jene Polariſationsebene polariſirten Theil zum Beweiſe, daß da die Brechung mehr vermag als die Reflexion. Aehnlich verhält ſich ein Strahl nach einer Brechung und einer Reflexion, nur mit dem Unterſchiede, daß jener Grenzwinkel einen anderen Werth hat. (Zeitſch. 9. 221; Pogg. Ann. 19. 518.)

128. Wird ein polariſirter Strahl an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mittels zurückgeworfen, ſo hängt die Lage der Polariſationsebene des reflectirten Strahles, wie aus der in 125 angegebenen Formel erhellet, nicht bloß von der Stellung der Polariſationsebene des einfallenden gegen die Einfallsebene und vom Einfallswinkel, ſondern überdieß noch von der Beſchaffenheit der an einander grenzenden Medien ab, denn es kommt in dieſer Formel auch der zu dem vorhandenen Einfallswinkel gehörende Brechungswinkel vor. Deßhalb aber gibt dieſelbe über den Zuſtand des reflectirten Strahles im Falle der totalen Reflexion, wo der Brechungswinkel imaginär erſcheint, keinen Aufſchluß. Indem Fresnel die Modification des polariſirten Lichtes in genanntem Falle zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen machte, wurde er zu einer ſeiner ſchönſten und wichtigſten Entdeckungen geführt, die wir jetzt aus einander ſetzen wollen. Läßt man einen polariſirten Lichtſtrahl A B in ein dreiſeitiges mit gleichen Winkeln bei E und F verſehenes Glasprisma D E F, Fig. 246, ſenkrecht gegen die Fläche D F eintreten, wodurch er hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes ungeändert an der Fläche E F ankommt, und hat man den Winkel D dergeſtalt gewählt, daß der Strahl in B to-

tal reflectirt wird; ſo findet man den zurückgeworfenen Strahl B O (der wegen des ſenkrechten Austrittes an der Fläche D E keine weitere Veränderung erleidet) wie vor dem Eintritte in das Prisma polariſirt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene mit der Einfallsebene parallel, oder auf ihr ſenkrecht iſt; dagegen gänzlich verändert, und ſcheinbar in einen ſogenannten unvollkommen polariſirten Strahl (126) verwandelt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene eine ſchiefe Stellung gegen die Einfallsebene hat. Der reflectirte Strahl gibt nämlich in letzterem Falle, mittelſt eines Doppelſpathes, bei jeder Lage des Hauptſchnittes zwei Bilder, deren Intenſität mit der Stellung des Hauptſchnittes wechſelt, ohne jedoch ſich auf Null zu reduciren. Er iſt demungeachtet von einem unvollkommen polariſirten Strahle weſentlich verſchieden. Um die Veränderung, welche die totale Reflexion einem polariſirten Lichtſtrahle beibringt, in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, iſt es am zweckmäßigſten, ſtatt des dreiſeitigen Prisma's ein Parallelepiped von der Form D E F G, Fig. 247, anzuwenden, deſſen ſpitze Winkel D und F für Glas mit dem Brechungsexponenten 1.5 entweder 48° oder 54° betragen, und deſſen Länge geſtattet, daß ein durch die Fläche D G ſenkrecht eindringender Lichtſtrahl A B nach zwei Reflexionen bei B und C, die hier nothwendig totale ſind, durch die Fläche E F austrete, was gleichfalls unter einem rechten Winkel geſchieht. Setzt man ein ſolches Fresnel'ſches Parallelepiped mit der Fläche D G auf den horizontal geſtellten Tiſch H des Polariſationsinſtrumentes Fig. 243, und unterſucht man den hindurchgegangenen Lichtſtrahl mittelſt eines der auf den Ring F gehörenden Prüfungsapparate, ſo findet man ihn, wenn die Reflexionsebene D E F G des Parallelepipeds der Reflexionsebene des untern Polariſationsſpiegels C parallel ſteht, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped, nämlich in dieſer Reflexionsebene polariſirt. Dreht man nun das Parallelepiped ein wenig um eine verticale Axe, ſo iſt der Zuſtand der vollkommenen Polariſation des Lichtes geſtört; man bringt es, bei Anwendung des achromatiſirten Doppelſpathprisma's nicht mehr zur früheren Dunkelheit eines der beiden Bilder; das ungewöhnliche Bild, deſſen Intenſität im vorigen Falle auf Null reducirt wurde, wenn die Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes mit der Polariſationsebene des untern Spiegels zuſammenfiel, erlangt jetzt ſeine geringſte Intenſität, wenn dieſe Hauptſchnittsebene mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds übereinſtimmt. Dreht man das Parallelepiped wieder ein wenig, ſo zeigt ſich eine ähnliche Erſcheinung, nur iſt das Bild im Minimum ſeiner Intenſität noch weniger dunkel als früher. Hat man dem Parallelepiped eine ſolche Stellung gegeben, daß die Reflexionsebene desſelben mit jener des Spiegels einen Winkel von 45° macht, ſo hört jede Aenderung der Lichtſtärke der Bilder bei den verſchiedenen Stellungen des Doppelſpathes auf; der Strahl ſcheint jede Spur von Polariſation verloren zu haben, d. i. in den Zuſtand des gemeinen Lichtes zurückgekehrt zu ſeyn. Bei weiterem Drehen des Parallelepipeds erſcheinen wieder Intenſitätsänderungen der beiden

Bilder, nur iſt jetzt das gewöhnliche Bild jenes, deſſen Intenſität am geringſten ausfällt, wenn der Hauptſchnitt des Doppelſpathes mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds parallel ſteht. Iſt endlich dieſe Ebene um 90° aus ihrer anfänglichen Poſition gedreht worden, ſo beſitzt der aus dem Parallelepiped kommende Strahl wieder vollkommene Polariſation, und ſeine Polariſationsrichtung iſt dieſelbe, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped. Daß der bei dieſen verſchiedenen Stellungen des Parallelepipeds ſich ergebende Strahl von einem gemeinen, mehr oder minder unvollkommen polariſirten, weſentlich verſchieden ſey, zeigt ſich ſogleich, wenn man ihn in einem zweiten, dem erſteren gleichen Parallelepiped abermals zwei totale Reflexionen erleiden läßt, wobei er ſich ganz anders verhält, wie gemeines theilweiſe polariſirtes Licht. Stellt man nämlich die Reflexionsebenen beider Parallelepipede einander parallel, ſo erhält man den aus dem erſten heraustretenden Strahl nach der Einwirkung des zweiten wieder in polariſirtem Zuſtande, nur zeigt ſich ſeine Polariſationsebene von der anfänglichen um das Doppelte des Winkels abgelenkt, den die gemeinſchaftliche Reflexionsebene der Parallelepipede mit jener des Polariſationsſpiegels macht. Stellt man aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds gegen die des erſten ſenkrecht, ſo erlangt der Strahl, welche Stellung ſonſt die Parallelepipede haben mögen, ſeine urſprüngliche Polariſationsrichtung zurück. Was insbeſondere den Fall betrifft, wenn das erſte Parallelepiped gegen die Reflexionsebene des Spiegels um 45° verſchoben iſt, ſo verwandelt ſich das dadurch ſcheinbar entpolariſirte Licht bei jeder Stellung des zweiten Parallelepipeds in vollkommen polariſirtes Licht, und ſeine Polariſationsebene macht ſtets mit der Reflexionsebene des letztern Parallelepipeds einen Winkel von 45°, ein Verhalten, das von dem des gemeinen unpolariſirten Lichtes weit entfernt iſt. Man nennt, nach *Fresnel's* Vorgang, das durch totale Reflexion eines polariſirten Strahles ſo modificirte Licht, daß es mittelſt eines Doppelſpathes, bei jeder Stellung ſeines Hauptſchnittes, zwei Bilder von gleicher Intenſität liefert, *circular polariſirt*, eine Benennung, die ſich auf ſpäter aus einander zu ſetzende theoretiſche Anſichten über die Natur dieſes Lichtes gründet. Das auf demſelben Wege erhaltene Licht, welches bei der Analyſe mittelſt des Doppelſpathes zwar immer zwei Bilder, aber von wechſelnder Intenſität liefert, heißt *elliptiſch polariſirt*. Ein polariſirter Lichtſtrahl, in dem bisher gebrauchten Sinne dieſer Benennung, wird zum Unterſchiede von den ſo eben erklärten Polariſationsarten, ein *geradlinig polariſirter* genannt.

129. Das polariſirte Licht kann, wie *Brewſter* entdeckt hat, auch durch Reflexion von einer polirten Metallplatte in den Zuſtand der elliptiſchen Polariſation verſetzt werden. Wird z. B. ein geradlinig polariſirter Strahl von einer polirten Stahlplatte unter einem Winkel von 75° reflectirt, in einer Ebene, die um 45° gegen die Polariſationsebene geneigt iſt; ſo erſcheint derſelbe nicht mehr polariſirt, denn er gibt bei der Analyſe mit einem Doppelſpathe ſtets zwei Bil-

der, oder was daſſelbe iſt, er wird von der Unterſuchungsplatte des Polariſationsinſtrumentes, bei jeder Lage der Einfallsebene gegen die urſprüngliche Reflexionsebene, reflectirt; er iſt auch kein natürlicher und kein unvollkommen polariſirter Strahl, denn er erſcheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75°, bei dem Winkel von 45° zwiſchen der Reflexionsebene und der urſprünglichen Polariſationsebene, geradlinig polariſirt, und die neue Polariſationsebene macht mit der früheren einen Winkel von 17°. Brewſter nennt einen ſolchen Strahl, der durch eine neue Reflexion wieder geradlinig polariſirt wird, vollkommen elliptiſch polariſirt. Daß aber ein von einer Metallfläche reflectirter, urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl ein elliptiſch polariſirter im oben (128) gebrauchten Sinne des Wortes ſey, lehrt ſein Verhalten nach zwei totalen Reflexionen in Fresnel's Parallelepiped, ſo wie umgekehrt ein aus dieſem Parallelepiped heraustretender urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl ſich bei Reflexionen an Metallflächen wie ein durch Metallflächen ſelbſt modificirter Strahl verhält. Auch ein circular polariſirter Strahl wird nicht bloß durch fernere totale Reflexionen in Glas, ſondern gleichfalls durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polariſationszuſtand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei dieſen Metallflächen kleiner ſind als der Winkel der vollkommen elliptiſchen Polariſation, und alle Reflexionsebenen einander parallel ſind. Es werden daher in der That Reflexionen von Glas durch Reflexionen von Metall vertreten.

Der Neigungswinkel der neuen Polariſationsebene gegen die urſprüngliche iſt immer das arithmetiſche Mittel aus den zwei Wirkungen, derjenigen, welche der doppelten totalen Reflexion im Glaſe und derjenigen, die der Reflexion am Metalle entſpricht. Erfolgen die totalen Reflexionen bei 54° und die Reflexion auf Stahl bei 75°, ſo beträgt die Neigung der Polariſationsebene des wieder hergeſtellten Strahles gegen die Reflexionsebene $30\frac{1}{2}$°, und man hat auch $\frac{45+17}{2}=31°$, wo 45° die Verſetzung der Polariſationsebene durch Glas, 17° jene durch Stahl bezeichnet.

130. Damit ein polariſirter Strahl vollkommen elliptiſch polariſirt werde, muß er von einem reguliniſchen oder vererzten Metalle bei einer beſtimmten Stellung der Einfallsebene gegen die Polariſationsebene unter einem gewiſſen Winkel reflectirt werden, der, wie jener in 124 erwähnte, Polariſationswinkel genannt werden kann. Iſt die Reflexionsebene mit der urſprünglichen Polariſationsebene weder parallel noch auf ihr ſenkrecht, ſo tritt ſchon eine elliptiſch polariſirende Wirkung ein, aber vollkommen iſt dieſelbe im Sinne Brewſter's erſt, wenn die Neigung dieſer zwei Ebenen 45°, 135°, 225° oder 315° beträgt. Bei einer Veränderung dieſes Winkels von 0°—360° erreicht ſie viermal ihre vollkommenſte Entwicklung, wird viermal = 0 und nimmt eben ſo oft ab und zu. Der Polariſationswinkel beträgt für Stahl 75°, für Silber 73°, für Zink $72\frac{1}{2}$°, für Spiegelmetall 76°.

Erfolgt dieſe Reflexion unter einem anderen Winkel, ſo tritt nur eine partielle elliptiſche Polariſation ein.

131. Zur Wiederherſtellung des urſprünglich geradlinigen Polariſationszuſtandes eines elliptiſch polariſirten Strahls durch Reflexion, gehört ein gewiſſes Verhältniß zwiſchen dem Einfallswinkel α dieſes Strahls auf die wiederherſtellende Metallplatte und dem Neigungswinkel φ der Einfallsebene auf dieſe Platte gegen die urſprüngliche Polariſationsebene. Die Lage der Polariſationsebene des wieder hergeſtellten Strahls richtet ſich nach der Natur des reflectirenden Körpers und nach dem Winkel φ. Es iſt klar, daß ein Strahl, der durch eine Reflexion elliptiſch, durch eine zweite wieder geradlinig polariſirt worden iſt, unter den gehörigen Bedingungen durch eine dritte Reflexion wieder elliptiſch, durch eine vierte abermals geradlinig polariſirt werden müſſe, es nimmt aber die Neigung der Polariſationsebenen des wieder hergeſtellten Strahls gegen die Reflexionsebene mit jeder neuen Wiederherſtellung ab, und wird zuletzt $= 0$, d. h. es wird zuletzt alles Licht in der urſprünglichen Polariſationsebene polariſirt.

Der Erfahrung gemäß hat man,

$\alpha = 80°$ für $\varphi = 0°$ oder $180°$
$\alpha = 75$ » $\varphi = 45$ » 135 oder 225 oder 360
$\alpha = 70$ » $\varphi = 90$ » 180

Die Neigung ψ der Polariſationsebene des reſtituirten Lichtes gegen die Reflexionsebene iſt für $\varphi = 45°$ bei Silber $39° 48'$, bei Kupfer $29°$, bei Queckſilber $26°$, bei Platin $22°$, bei Stahl $17°$, bei Blei $11°$, bei Eiſenglanz $= 0$, überhaupt ſtets kleiner als $45°$. Wird φ größer als $45°$, ſo entfernt ſich die Polariſationsebene des wiederhergeſtellten Strahls von der Reflexionsebene (d. h. es wächſt ψ), während das Gegentheil Statt hat, wenn φ kleiner als $45°$ wird. Für $\varphi = 0°$ wird $\psi = 0°$, für $\varphi = 90°$ hingegen iſt $\psi = 180°$.

132. Natürliches Licht läßt ſich als ſolches anſehen, das aus zwei unter einem rechten Winkel polariſirten Hälften beſteht, für deren eine $\varphi = +45°$, für die andere aber $\varphi = -45°$ iſt. Fällt ein ſolches Licht unter dem Winkel der vollkommenen elliptiſchen Polariſation hinter einander auf Metallplatten auf, ſo erhält man nach zwei Reflexionen zwei Strahlen, die geradlinig und entgegengeſetzt polariſirt ſind, deren Polariſationsebenen mit der Reflexionsebene kleinere Winkel machen als $45°$; der Strahl iſt daher zum Theile oder unvollkommen polariſirt. Nach zwei neuen Reflexionen erhält man zwei Hälften, deren Polariſationsebenen einander noch näher liegen, bis ſie endlich nach einer gewiſſen Anzahl von Reflexionen in ihren Polariſationsrichtungen zuſammenfallen, und daher das Licht vollkommen geradlinig polariſirt iſt. Auf ſolche Weiſe kommt es, daß ein Körper, der bei einer Reflexion einen Strahl durchaus nicht vollkommen zu polariſiren vermag, dieſes durch mehrere Reflexionen zu leiſten im Stande iſt. So polariſirt Stahl unter $75°$ durch acht Reflexionen, Silber unter $73°$ noch nicht vollkommen durch ſechs und dreißig Reflexionen. Daß bei ſo oft wiederholten Reflexionen verſchiedene Farben zum Vor-

ſcheine kommen, rührt davon her, daß der Winkel der vollkommenen elliptiſchen Polariſation für verſchiedenfarbige Strahlen einen verſchiedenen Werth hat.

133. Daß doppelt brechende Subſtanzen auf polariſirtes Licht, hinſichtlich der Intenſität der beiden Bilder anders einwirken, wie auf unpolariſirtes, iſt bereits geſagt worden. Wird aber das durch eine ſolche Subſtanz hindurchgeleitete urſprünglich polariſirte Licht, ehe es in das Auge kommt, von einem der Unterſuchungsapparate des Polariſationsinſtrumentes aufgenommen, ſo findet man es nach Maßgabe der Lage und Dicke des Plättchens geradlinig, circular oder elliptiſch polariſirt, und es iſt dieß gleichfalls ein ſehr brauchbares Mittel ſich circular oder elliptiſch polariſirtes Licht zu verſchaffen. Vorzüglich eignet ſich hiezu Glimmer, dem man durch Spalten leicht die erforderliche Dicke geben kann. Auch zeigen ſich unter ähnlichen Umſtänden, bei Anwendung weißen Lichtes, in Folge einer verſchiedenen Einwirkung auf deſſen Beſtandtheile, eigenthümliche Farbenerſcheinungen. Legt man ein nicht zu dickes Plättchen Glimmer oder Gips auf den Tiſch H des Polariſationsinſtrumentes, Fig. 243, läßt das Licht, welches durch den Spiegel polariſirt und im Plättchen doppelt gebrochen worden iſt, auf das Glas in G fallen, und entweder das durchgelaſſene oder das reflectirte ins Auge kommen, ſo erſcheint das Plättchen farbig. Die Farbe, welche man da wahrnimmt, richtet ſich nach der Natur und Dicke des Plättchens. Ueber eine gewiſſe Dicke hinaus findet aber keine Färbung desſelben Statt. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, damit dieſes ſchief durch das Plättchen gehe, ſo ändert ſich die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. Dreht man das Plättchen um das einfallende Licht (wozu der Tiſch H eigens eingerichtet iſt), ſo ändert ſich nicht die Beſchaffenheit, wohl aber die Intenſität der Farbe, und es gibt vier Lagen des Plättchens, wo die Farben am intenſivſten, und vier andere, wo ſie am ſchwächſten (= o) ſind. Erſteres da, wo der Hauptſchnitt des Plättchens mit der urſprünglichen Polariſationsebene 45° macht, letzteres, wo dieſer Winkel o oder 90° iſt. Die Farbe des Plättchens im durchgelaſſenen Lichte iſt ſtets die complementäre zu der im reflectirten, oder es geht die Farbe des Plättchens in die complementäre über, wenn man den Spiegel, ohne den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um 90° dreht. Wendet man ſtatt des Glaſes G einen Doppelſpath an, ſo ſieht man zwei farbige Bilder auf einmal, und ihre Farben ergänzen ſich da, wo ſie ſich decken, zu Weiß.

Die Beſtändigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von beſtimmter Dicke im polariſirten Lichte, und die mit der Neigung desſelben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwiſchenſtufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Conſtruction eines **Farbenmeſſers**. Einen ſolchen kann ſchon das Polariſationsinſtrument (Fig. 243) abgeben, wenn man den Tiſch H ſo einrichtet, daß man ihn unter verſchiedenen Winkeln gegen den durchgehenden Strahl neigen, und den jedesmaligen Neigungswinkel meſſen kann. — In die Reihe dieſer Farbenerſcheinungen gehören auch diejenigen, welche Kry-

ſtalle im polariſirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angeſehen, auch zwei verſchiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietät dieſes Minerals ein dreiſeitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlenbüſchel hinreichend von einander getrennt erſcheinen, und läßt weißes polariſirtes Licht darauf fallen; ſo gehen bloß blaue Strahlen durch, wenn die Axe des Kryſtalls auf der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes ſenkrecht ſteht, hingegen grünlich weiße, wenn die Axe mit dieſer Ebene parallel iſt. Dreht man das Prisma allmählig von der erſten Lage in die zweite, ſo geht auch das durchgelaſſene Licht ſucceſſiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewſter, dem wir die Kenntniß dieſer Erſcheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphyr, Smaragd, Amethiſt, Turmalin ꝛc.

134. Beſonders merkwürdig ſind die ſchönen Farbenphänomene, die ſich in doppelt brechenden, ſenkrecht auf die Brechungsaxe geſchnittenen Plättchen im polariſirten Lichte zeigen. Leitet man auf ein ſolches gleichförmig dickes Plättchen MN (Fig. 248) aus Doppelſpath, einen convergirenden, geradlinig polariſirten Strahlenkegel ACB, deſſen Axe CD mit der des Kryſtalls parallel iſt, und läßt ihn hierauf unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation auf eine Glasplatte einfallen, damit er durch ſie entweder reflectirt oder gebrochen werde; ſo ſieht man das Plättchen mit farbigen concentriſchen Ringen geziert, die durch ein Kreuz unterbrochen erſcheinen. Dieſes Kreuz iſt rechtwinkelig und im reflectirten Lichte ſchwarz (Fig. 249), wenn die Einfallsebene der Strahlen auf die Glasplatte auf der Polariſationsebene ſenkrecht ſteht; hingegen weiß (Fig. 250), wenn jene Einfallsebene mit der Polariſationsebene parallel iſt; im gebrochenen Lichte findet das Gegentheil Statt. Aehnliche Ringe bemerkt man an ſolchen Plättchen von anderen einaxigen Kryſtallen, z. B. von Beryll, Turmalin ꝛc., nur erſcheinen die Farben bei verſchiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen von verſchiedener Größe, und das Kreuz iſt bald mehr bald minder deutlich zu ſehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterſchwefelſaurem Kalke, weicht die Farbenfolge von der in den gewöhnlichen Fällen Statt findenden ſtark ab. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Aenderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinſte Mangel an Homogeneität offenbart ſich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demſelben Plättchen erſcheint ein Ring deſto größer, je dünner die Platte iſt, und zwar wachſen die Ringdurchmeſſer verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Schief gegen die Axe der doppelten Brechung geſchnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen erſcheint das Phänomen dieſer Farbenringe ganz verſchieden. Iſt ein ſolches Plättchen ſenkrecht auf die Linie geſchnitten, welche den Winkel beider Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, ſo ſieht man die Ringe, wie Fig. 251, falls die beiden Axen einen ſehr kleinen Winkel einſchließen, ſo daß man ihre Pole, die den Mittelpunkten der Ringe entſprechen, zugleich im

Geſichtsfelde hat, und die urſprüngliche Polariſationsebene mit der Ebene der zwei Axen zuſammenfällt. Machen dieſe Axen einen größeren Winkel, wie z. B. bei Plättchen aus Salpeter, ſo erſcheinen die Ringe, wie Fig. 252 zeigt, wenn die Polariſationsebene die vorher angegebene Lage hat; dreht man das Plättchen um 22°½; ſo nehmen die Ringe die Geſtalt Fig. 253, bei einer Drehung von 45° die Geſtalt Fig. 254 an, und dieſelben Veränderungen erleiden ſie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Kryſtallen, deren Axen einen gar großen Winkel einſchließen, wie z. B. aus Arragonit, erſcheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 255 darſtellt. Dieſe Erſcheinungen ändern ſich, wenn man ſtatt des geradlinig polariſirten Lichtes circular oder elliptiſch polariſirtes anwendet. Wird z. B. ein ſenkrecht gegen die Kryſtallaxe geſchnittenes Plättchen aus Kalkſpath polariſirtem Lichte ausgeſetzt, das vorher durch ein Fresnel'ſches Parallelepiped gegangen iſt, deſſen Reflexionsebene mit der Polariſationsebene des Lichtes einen Winkel von 45° macht, ſo verſchwindet das ſchwarze Kreuz, und die Ringe erſcheinen, wie Fig. 256 zeigt, in vier Quadranten getheilt, die abwechſelnd um eine halbe Ringbreite gegen den Mittelpunkt vor- und zurückgeſchoben ſind. Durch Drehen des Unterſuchungsapparates werden bloß die Theilungslinien der Quadranten gedreht, ſonſt aber an der Figur nichts geändert. Wendet man das Parallelepiped gegen die andere Seite der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes, ſo daß es wieder mit dieſer den Winkel von 45° macht, ſo verändert ſich die Erſcheinung bloß im Verhältniſſe von Rechts zu Links. Plättchen aus zweiarigen Kryſtallen verhalten ſich auf analoge Weiſe. Läßt man das circular polariſirt in ein Kalkſpathplättchen, wie vorhin, einfallende Licht, ehe es zum Unterſuchungsapparate kommt, noch einmal durch ein mit dem erſteren übereinſtimmend geſtelltes Fresnel'ſches Parallelepiped gehen, ſo erhält man bei den Hauptſtellungen des Unterſuchungsapparates wieder Kreiſe, jedoch ohne Kreuz und mit einem dunklen oder lichten Fleck im Mittelpunkte. In homogenem Lichte ſieht man in allen dieſen Fällen ſehr zahlreiche Ringe von der Farbe des angewendeten Lichtes, die durch dunkle Zwiſchenräume unterbrochen ſind. Die Durchmeſſer der Ringe ſind für verſchiedene Farben verſchieden, und zwar nehmen ſie von der rothen Farbe des Spectrums gegen die violette hin ab, ein Umſtand, welcher lehrt, daß das Phänomen im weißen Lichte bloß das Reſultat des gleichzeitigen Eintretens und der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen iſt, die den verſchieden brechbaren Beſtandtheilen des weißen Lichtes angehören.

Um dieſe Erſcheinung rein hervorbringen und bequem beobachten zu können, leite man Tages- oder Lampenlicht (wenn man homogenes Licht anwenden will, das einer Weingeiſtlampe mit ſtarkem und in Kochſalzauflöſung getränkten oder mit Kochſalz beſtreutem Dochte) auf den Spiegel C des Polariſationsinſtrumentes, bringe das Kryſtallplättchen nahe an den Ring F, ſetze unter dasſelbe eine Sammellinſe, ſo daß ſich das Plättchen in ihrer Brennweite befindet, und ſehe durch die gehörig geſtellten Gläſer G oder durch einen gleichgeltenden Apparat,

z. B. ein Turmalinplättchen oder ein Nicol'ſches Prisma auf das Plättchen herab. Circulares Licht verſchafft man ſich leicht durch Einſchaltung eines paſſenden Glimmerplättchens zwiſchen den Polariſationsſpiegel und das Kryſtallplättchen. Man kann den Unterſuchungsapparat mit Vortheil nach Airy geeignet machen, auch am kleinſten Kryſtallplättchen eine bedentende Zahl von Ringen wahrzunehmen, wenn man die vom Kryſtalle divergirend ausgehenden Strahlen mit einer Sammellinſe aufnimmt, die ſelbe parallel macht und einer zweiten Sammellinſe zuſendet, in deren Brennpunkt ſich das mit einem Turmalinplättchen oder Nicol'ſchen Prisma bewaffnete Auge befindet, wenn man nicht zwiſchen beide Linſen einen geſchwärzten Spiegel einſchalten will. Ein anderes Ocular hat Dove angegeben. (Pogg. Ann. 35. 596.) Noch leichter gelangt man zum Zweck, wenn man Turmalinplättchen, die parallel mit der Axe geſchnitten ſind, ſo legt, daß ihre Axen ſich durchkreuzen, oder zwei Nicol'ſche Prismen anwendet, das Plättchen zwiſchen ſie gibt, und den ganzen Apparat nahe ans Auge hält. Um das Phänomen mehreren Perſonen zugleich und mit lebhafter Lichtintenſität ſichtbar zu machen, kann man dieſe Vorrichtung auch vor die Beleuchtungslinſen eines Sonnen- oder Gasmikroſkopes ſetzen, deſſen mikroſkopiſche Linſen man entfernt hat, und das Bild auf einer weißen Tafel auffangen. Bei hinreichendem Lichte läßt ſich durch Entfernung der Tafel eine bedeutende Vergrößerung erzielen. (Nach Marx ſollen ſich die Turmalinplatten auch durch Platten von Dichroit, welche man durch einen parallel mit der optiſchen Axe des Kryſtalls geführten Schnitt erhält, erſetzen laſſen.) Auch Nörrenberg's Einrichtung des Polariſationsinſtrumentes geſtattet eine bequeme Beobachtung der Farbenringe im geradlinig polariſirten Lichte, wenn man das Kryſtallplättchen auf den horizontalen Spiegel legt, und darüber in angemeſſener Entfernung eine Sammellinſe anbringt, auf welche man aus der Sehweite herabſieht. Dieſe Beobachtungsweiſe eignet ſich beſonders für diejenigen Fälle, in welchen die Ringe groß ausfallen, wenn man ſie auf die gewöhnliche Weiſe betrachten will, mithin nicht gut überſehen werden können. Mit Hülfe des Spiegels wirkt ein Kryſtallplättchen ſo, als ob ſeine Dicke verdoppelt wäre.

135. Ein von den übrigen einaxigen Kryſtallen gänzlich abweichendes Verhalten im polariſirten Lichte zeigt der Bergkryſtall. An einem ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Plättchen aus dieſem Körper erſcheint bei der oben beſchriebenen Beobachtungsweiſe kein dunkles Kreuz, ſondern höchſtens Spuren davon an den äußern Farbenringen. In der Mitte aber bemerkt man einen farbigen Fleck, deſſen Farbe bei der Drehung der Polariſationsebene des Unterſuchungsapparates wechſelt. Unterſucht man die Erſcheinung im gleichfarbigen Lichte, ſo ergibt ſich eine eigenthümliche Einwirkung des Plättchens auf das parallel mit ſeiner optiſchen Axe, d. h. ſenkrecht auf ſeine Flächen hindurchgeleitete geradlinig polariſirte Licht. Es kommt nämlich dieſes Licht wohl wieder im Zuſtande der geradlinigen Polariſation aus dem Plättchen, aber ſeine Polariſationsebene iſt gegen die urſprüngliche um einen gewiſſen von der Dicke des Plättchens abhängenden Winkel gedreht, und es iſt der Drehungswinkel bei gleicher Dicke für Strahlen von verſchiedener Farbe ein anderer. Hieraus wird der Farbenwechſel bei Anwendung weißen Lichtes begreiflich. Höchſt inte-

reſſant iſt der Umſtand, daß bei Plättchen von gleicher Dicke die Drehung der Polariſationsebene einer jeden Lichtſorte in verſchiedenem Sinne erfolgen kann, nämlich Plättchen aus gewiſſen Bergkryſtall-Individuen rechts drehend, aus anderen links drehend wirken, und daß ſchon der bloße Anblick der Kryſtallgeſtalt des Individuums, aus welchem das Plättchen genommen wird, an beſonders gelagerten trapezförmigen Flächen, die ſich häufig nächſt den Combinationskanten des ſechsſeitigen Prisma's mit der Endpyramide vorfinden, und bald von rechts nach links, bald umgekehrt liegen, auf die Richtung der Drehung zu ſchließen geſtattet. Legt man zwei Plättchen von gleicher Dicke, wovon eines rechts drehend, das andere links drehend auf die Polariſationsebene des Lichtes wirkt, über einander, ſo erblickt man im polariſirten Lichte die von Airy entdeckte, mit vier vom Mittelpunkte der Farbenringe auslaufenden Spiralen verſehene Figur 257. (In Nörrenberg's Polariſationsvorrichtung genügt es, eine Quarzplatte auf den horizontalen Spiegel zu legen und eine Sammellinſe darüber zu halten; das Bild derſelben vertritt die Anweſenheit der zweiten entgegengeſetzt drehenden von gleicher Dicke.) Ein Amethyſtkryſtall kann zugleich rechts und links drehende Plättchen liefern. Eben ſo wie der Bergkryſtall in Sinne ſeiner Axe, wirkt auch eine Säule von Terpentinöhl, Citronenöhl, eine Löſung von Zucker, Dextrin, jedoch iſt der Drehungswinkel der Polariſationsebene verſchieden nach Maßgabe der Natur der Subſtanz, ihrer Dicke, und der Brechbarkeit des Lichtes. So z. B. wird nach Biot die Polariſationsebene eines gewiſſen rothen Strahls (den mit Kupferoxyd gefärbtes Glas durchläßt) durch eine fünf Millimeter dicke Quarzplatte um 92°, durch eine eben ſo dicke Terpentinſäule um 14° 3, durch eine Citronenöhlſchichte um 21° 8 gedreht. Terpentinöhl (im tropfbaren Zuſtande oder als Dampf), Lorbeeröhl, eine Löſung von Traubenzucker, der noch nicht feſt war, drehen die Polariſationsebene zur Linken; Citronenöhl, eine Löſung von Traubenzucker, der ſchon feſt war, Rohrzucker, Dextrin, Runkelrübenſaft ꝛc. von der Linken zur Rechten, ſo daß man dieſe Eigenſchaft zur Prüfung der Subſtanzen auf Zucker benützen kann.

136. Der innige Zuſammenhang, welcher zwiſchen der Polariſation und doppelten Brechung Statt findet, läßt häufig von einer derſelben auf die andere ſchließen, und da die doppelte Brechung mit dem Kryſtalliſationszuſtande der Körper ſo genau zuſammenhängt, ſo wird durch die Polariſation auch oft ein Schluß auf die Kryſtallform der Stoffe gerechtfertigt. Der kleinſte Splitter eines doppelt brechenden Körpers polariſirt das Licht vollkommen, und die Polariſationsrichtung geſtattet einen Schluß auf die Lage des Hauptſchnittes. Die Farbenringe, welche ſolche Körper im polariſirten Lichte zeigen, geben Anzeigen über die Anzahl und Lage der Axen, über ihre Aenderung durch Druck, Erwärmung ꝛc. Körper, deren doppelte Brechung bekannt iſt, werden mit Vortheil zur Beſtimmung des Polariſationszuſtandes des Lichtes gebraucht.

Will man erfahren, ob ein Körper das Licht doppelt breche oder nicht, ſo gebe man ihn zwiſchen zwei Turmalinplättchen, wie ſie früher beſchrieben worden ſind, deren Axen aber ſich rechtwinkelig durchkreuzen (oder auch zwiſchen zwei Nicol'ſche Prismen, die eben ſo gelegt ſind). Dieſe erſcheinen undurchſichtig, ſo lange ſich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwiſchen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Subſtanz dazwiſchen kommt, ſo werden ſie augenblicklich durchſichtig oder wenigſtens durchſcheinend. Will man unterſuchen, ob ein Strahl polariſirt ſey oder nicht, ſo leite man ihn durch einen Doppelſpath. Kann man beim Drehen desſelben eine Lage finden, wo nur ein Bild entſteht, ſo iſt der Strahl polariſirt; ja ſelbſt wenn man keine ſolche Lage ausfindig machen kann, und zwei Bilder entſtehen, ſo läßt ſich aus der Gleichheit oder Verſchiedenheit ihrer Intenſität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polariſirt ſey. Man kann die zur Entſtehung polariſirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützen, zu erforſchen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten oder von leuchtenden Körpern verſchiedener Art ausgehenden Strahlen polariſirt ſeyen oder nicht. Hierauf gründen ſich die ſogenannten Polariſkope, dergleichen Arago, Biot, Savart angegeben haben. Wird nämlich an ein Turmalinplättchen, das parallel mit der Axe des Kryſtalls geſchnitten iſt, ein ſenkrecht auf die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen oder ein ſolches Doppelſpathplättchen befeſtigt, ſo darf man nur erſteres nahe vor das Auge halten, und ſehen, ob Farbenringe bemerklich ſind oder nicht. Finden dieſe Statt, ſo muß offenbar das einfallende Licht polariſirt ſeyn. Die von Savart zu dieſem Behufe angewendeten, der Axe parallel geſchnittenen Bergkryſtallplatten, mit gekreuzten Axen über einander gelegt und mit einem Turmalinplättchen verſehen, deſſen Axe den Winkel der erſteren halbirt, laſſen bei der geringſten Spur von polariſirtem Licht geradlinige Streifen wahrnehmen, deren Richtung, wenn das Ganze in der Ebene der Plättchen ſo gedreht wird, daß dieſelben in größter Intenſität und mit einem ſchwarzen Mittelſtreifen erſcheinen, mit der Polariſationsrichtung des Lichtes übereinſtimmt. Bei circular polariſirtem Lichte bleibt das Ausſehen dieſer Streifen ſtets dasſelbe, wenn man das Polariſkop um eine auf der Ebene der Plättchen ſenkrechte Axe dreht. Ueberhaupt ſind die Erſcheinungen, welche Kryſtallplättchen, die durch ſenkrecht auf die optiſche Axe geführte Schnitte entſtehen, im polariſirten Lichte gewähren, beſonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei ſolchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derſelben zu beſtimmen; denn die Ringe erſcheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Kryſtalls parallel iſt, und in ſolchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt ſind, und demnach gegenſeitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpunkte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein ſolches Plättchen homogenes Licht, ſo erſcheinen offenbar nur die demſelben entſprechenden Ringe und auch die ihm entſprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage in verſchiedenem homogenen Lichte, bei verſchiedenen Temperaturgraden ꝛc.; ſo erfährt man, daß in ſolchen Kryſtallen jedem farbigen Strahle eine beſondere Axe der doppelten Brechung entſpreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zuſammenfallen, daß nicht alle derſelben in einer Ebene liegen, kurz alles das, was (110) von den Brechungsaxen geſagt wurde. Merkwürdig iſt die Aenderung der Lage der Axen bei dem Weißbleierz durch Erwärmung, welche man gut

wahrnimmt, wenn man eine Platte dieſes Kryſtalls zwiſchen Turmalinplättchen vor den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroſkopes ſetzt. Die raſche Aenderung in dem auf eine weiße Tafel projicirten Farbenphänomen läßt ein Auseinanderweichen der Axen bei Erhöhung der Temperatur erkennen. Auch Anomalien in der Zuſammenſetzung kryſtalliſirter Körper geben ſich durch Verzerrung der Ringe zu erkennen. (Zeitſch. 1. 30; 7. 81. Pogg. Ann. 8. 520; 17. 1; 26. 302; 26. 308; 27. 480; 27. 504. Schweigg. Journ. 49. 167; 69. 140.) Man hat ſogar die feineren materiellen Unterſchiede vieler Subſtanzen aus ihrer doppelt brechenden und polariſirenden Eigenſchaft zuerſt erkannt, wiewohl dieſe Unterſchiede ſo gering waren, daß man ſie bei chemiſchen Analyſen gar leicht überſehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optiſchen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abſtoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, dieſe Körper einer genaueren Unterſuchung zu unterwerfen, wobei ſich zeigte, daß ihrem beſonderen optiſchen Verhalten auch eine beſondere materielle Beſchaffenheit entſpreche.

137. Seebeck und Brewſter haben zuerſt gelehrt, wie man einen Körper, der im polariſirten Lichte keine Farbe zeigt, dahin bringen könne, daß er den vorerwähnten ähnliche Farbenphänome hervorbringt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglaſe mit dem Rande an ſtark erhitztes Eiſen, bringt das Ganze über den Tiſch H des Polariſationsinſtrumentes und ſieht durch die Gläſer G darauf herab; ſo bemerkt man, daß in der Glasplatte parallele Streifen (Fig. 257) entſtehen, ſo wie ſich die Wärme durch ſie fortpflanzt. Die Farben dieſer Streifen gehen alſogleich in die complementären über, wenn man das Glas G um 90° in derſelben Neigung dreht, oder ſie ſtatt im durchgelaſſenen, im reflectirten Lichte anſieht; ſie verlieren ſich aber ganz, wenn ſich die Wärme einmal gleichförmig in der ganzen Platte verbreitet hat. Es iſt in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zuſammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, ſo erſcheinen in jedem Stücke die Farben abgeſondert wie in einem Ganzen, verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, ſo iſt es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Nimmt man einen Glascylinder und erwärmt ihn von der Axe aus, indem man z. B. in eine daſelbſt angebrachte Vertiefung heißes Queckſilber gießt; ſo bilden ſich concentriſche Farbenringe mit einem rechtwinkeligen, dunklen Kreuze, wie Fig. 249. Dieſelben Erſcheinungen erfolgen, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eiſen anhält.

138. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte keine beſondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Preſſe, drückt ihn mäßig zuſammen, hält ihn ins Polariſationsinſtrument, und ſieht ihn durch das Glas G an; ſo bemerkt man eigene Farben, die mit der Stärke des Druckes ſich ändern, in die complementäre übergehen,

wenn man die Einfallsebene in G um 90° ändert, aber wieder verſchwinden, wenn der Druck nachläßt. Sehr regelmäßig ſtellt ſich die Zeichnung dar, wenn die Preſſe den Würfel bloß an zwei einander gegenüber liegenden Stellen drückt. Aehnliche Erſcheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glaſes zu Stande. Biegt man einen Glasſtreifen, ſo ſieht man ihn an der ſchmalen Seite im polariſirten Lichte mit parallelen Farbenſtreifen, die in der Mitte durch eine ſchwarze Linie verbunden ſind. Eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene, an zwei gegenüber liegenden Punkten der Seitenfläche gepreßte Quarzplatte, zeigt im polariſirten Lichte das Ringſyſtem eines zweiaxigen Kryſtalles.

139. Alle dieſe Farbenerſcheinungen ſind nur vorübergehend. Man kann ſie aber bleibend machen, wenn man die durch ungleichförmige Erwärmung oder durch Druck hervorgebrachte ungleiche Anordnung der Theile eines Körpers fixirt. Dieſes geſchieht, wenn man heißes Glas ſchnell abkühlt. Bringt man dieſes nach der Hand in polariſirtes Licht, wie die vorhin betrachteten Körper, ſo erſcheint es mit beſonderen farbigen Zeichnungen, deren Beſchaffenheit von der Geſtalt des Glaskörpers, von deſſen ſchnellerem oder langſameren Abkühlen und von der Stellung gegen die Polariſationsebene abhängt. Iſt dieſer Körper ein Würfel, und iſt er ſo ins Polariſationsinſtrument (auf den Tiſch H) geſtellt, daß eine ſeiner Seitenflächen mit der Polariſationsebene in C parallel iſt, während auch die Einfallsebene in G mit der in C zuſammenfällt; ſo ſieht man im durchgelaſſenen Lichte an den vier Ecken farbige Zeichnungen, wie Pfauenaugen, zwiſchen ihnen ein dunkles Kreuz, und nicht ſelten um dieſes noch allerlei ſymmetriſch angeordnete, farbige Einfaſſungen (Fig. 258). Dreht man die Gläſer in G um 90°, oder ſieht man den Würfel im reflectirten Lichte an, ſo bemerkt man dieſelbe Zeichnung mit complementären Farben: ſie geht aber in eine andere recht gefällige Form über, wenn man den Würfel allein dreht, ohne das übrige zu ändern. Dieſelbe Erſcheinung zeigt ſich, aber nur vorübergehend, wenn man einen ungekühlten Glaswürfel in einen erhitzten Metallrahmen legt, worein er gerade paßt. Es iſt daher durch das raſche Abkühlen der Zuſtand des Würfels, den er bei ungleicher Erwärmung von außen nach innen annimmt, fixirt worden. Mehrere ſchnell gekühlte, über einander gelegte, quadratiſche Glasplatten vertreten einen maſſiven Würfel vollkommen. Schleift man einen Würfel ſo, daß er die Geſtalt Fig. 259 bekommt, ſo zeigt er auch die daſelbſt abgebildete Zeichnung. Eine längliche Glasplatte gibt die Fig. 260, ein Cylinder die Fig. 249. Aehnliche Erſcheinungen bemerkte Seebeck an ſchnell entſtandenen Kryſtallen von Borax, Kochſalz, in Gummiſtücken und in thieriſchen Subſtanzen, ja ſelbſt im Diamante, ſonſt einem einfach brechenden Körper, will ſie Brewſter geſehen haben.

Zehntes Kapitel.

Beugung des Lichtes.

140. Man kennt ſchon ſeit geraumer Zeit Phänomene, welche zeigen, daß Lichtſtrahlen, die an den Kanten eines Körpers vorbeigehen oder durch eine ſehr kleine Oeffnung geleitet werden, eine Ablenkung von der geraden Bahn erleiden, und dabei in farbige Büſchel zerlegt werden. Man heißt dieſe Modification des Lichtes, welche in neuerer Zeit ſorgfältig unterſucht worden iſt, die Beugung.

Die erſte Erſcheinung dieſer Art bemerkte Grimaldi, als er in ein verfinſtertes Zimmer einen Lichtkegel eindringen ließ, einen feinen Draht darein hielt, deſſen Schatten in einer gewiſſen Entfernung davon maß, und ihn viel breiter fand, als er, in Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, nach ſeiner Entfernung vom Drahte hätte ſeyn ſollen. Er bemerkte zugleich, daß der Schatten beiderſeits von Farbenſäumen begrenzt ſey.

141. Die Phänomene der Beugung ſind mannigfaltig; ſie laſſen ſich auf verſchiedene Arten hervorbringen und beobachten. Sie zeigen ſich, wenn Licht, das von einem leuchtenden Punkte, oder, nach Erforderniß, von einer leuchtenden Linie kommt, entweder an Einem Rande eines breiteren Körpers, oder an beiden Rändern eines ſchmalen Streifens vorbeigeht, oder durch eine oder mehrere in einem undurchſichtigen Schirme angebrachte kleine Oeffnungen oder Spalten hindurchdringt. Dieſe Oeffnungen laſſen ſich auch durch Linien erſetzen, die man auf Glas, welches mit einem undurchſichtigen Ueberzuge bekleidet, oder ſelbſt ganz frei iſt, radirt hat, und da wird nicht bloß das durchgehende, ſondern auch das reflectirte Licht gebeugt, was auch geſchieht, wenn ſich die Linien auf einer undurchſichtigen Platte befinden. Die oben genannten Lichtquellen verſchafft man ſich am beſten, wenn man Sonnenlicht mittelſt eines Helioſtats durch eine am Fenſterladen angebrachte kleine Oeffnung oder enge Spalte in ein verfinſtertes Zimmer leitet, und den Körper oder Schirm, der das Licht beugen ſoll, in die Richtung des einfallenden Strahlenbündels ſetzt. Dabei kann man in mehreren Fällen die Erſcheinung unmittelbar auf einer weißen Tafel, mit der man das gebeugte Licht auffängt, deutlich wahrnehmen. Man kann ſich aber auch einer Sammellinſe bedienen, welche man um ihre Brennweite von dem Auge entfernt hält, und mit der man aus einer beliebigen Entfernung gegen den das Licht beugenden Gegenſtand in der Richtung der gebeugten Strahlen hinſieht. Da nimmt man das Phänomen in vergrößertem Maßſtabe ſo wahr, wie es ſich auf einer in der Sehweite der Linſe befindlichen Tafel zeigen müßte, vorausgeſetzt, daß die Lichtſtärke dazu hinreicht. Eine Wilſon'ſche Loupe (S. 305) eignet ſich zu dieſer Beobachtungsweiſe vorzüglich. Sind die Oeffnungen am Schirme, womit das Licht gebeugt wird, ſehr fein, ſo genügt es, dieſen dicht vor das Auge zu halten, und nach der Oeffnung, von welcher das Licht kommt, hinzuſehen. Hiebei iſt nicht einmal ein verfinſtertes Zimmer nöthig,

ſondern ein Schirm mit einer engen Oeffnung oder Spalte, der durch einen Spiegel Sonnenlicht zugeſendet wird, leiſtet die erforderlichen Dienſte. Als leuchtender Punkt läßt ſich auch das Sonnenbildchen benützen, welches ein kleiner Convexſpiegel liefert; als ſolcher dient eine gefüllte Thermometerkugel, ein geſchwärztes Uhrglas, ein polirter Metallknopf u. dgl.; eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Glasröhre, einer Stricknadel u. dgl. im Sonnenlichte. In mehreren Fällen kann man auch Lampenlicht anwenden. Die Beugungsphänomene laſſen ſich auch bequem mit Mayer's Inflexioſkop beobachten, einem Inſtrumente, das im Weſentlichen aus einem, das dunkle Zimmer erſetzenden Rohre beſteht, in welches das Licht durch eine enge Oeffnung oder eine ſchmale Spalte an dem Deckel des einen Endes eintritt, und durch eine am entgegengeſetzten Ende des Rohres befindliche Oeffnung, oder durch einen der Spalte parallelen Draht gebeugt wird. Das Auge befindet ſich entweder gleich hinter der das Licht beugenden Oeffnung, oder, was beſonders bei Anwendung eines Drahtes nöthig iſt, hinter einer Sammellinſe. Am vortheilhafteſten laſſen ſich aber die Erſcheinungen wahrnehmen, welche durch die Beugung des Lichtes in einzelnen oder gitterförmig an einander gereihten Oeffnungen entſtehen, wenn man, wie Fraunhofer bei den Verſuchen, die unſere Kenntniſſe in dieſem Gebiete ſo ſehr erweiterten, zuerſt gethan hat, ein gutes Fernrohr zu Hülfe nimmt, das Ocular desſelben ſo richtet, daß man die Lichtquelle (die Oeffnung oder Spalte am Fenſterladen u. dgl.) deutlich ſieht, und ſodann die Platte, in der ſich die das Licht beugenden Oeffnungen befinden, vor das Objectiv des Fernrohres ſetzt.

142. Bedient man ſich der letzteren Methode als der vorzüglichſten, und läßt die von einer Lichtlinie kommenden Strahlen durch eine vor dem Objective des Fernrohres befindliche, dieſer Linie parallele Spalte gehen, ſo ſieht man in der Mitte des Geſichtsfeldes einen weißen Streifen a, Fig. 261, deſſen Höhe ſo groß als die ſcheinbare Höhe der Lichtlinie, deſſen Breite aber um ſo größer iſt, je enger man die Spalte vor dem Fernrohre macht. Dieſer Streifen iſt gegen beide Enden zu gelb und zuletzt roth gefärbt; zu beiden Seiten desſelben erblickt man eine Folge von Farbenbildern in übereinſtimmender Anordnung, und zwar zunächſt ein lebhaftes Farbenbild b, welches unmerklich in ein zweites minder intenſives c, dann in ein drittes wieder ſchwächeres d übergeht u. ſ. f. An der der Mitte der ganzen Erſcheinung zugekehrten Seite iſt die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im erſten Farbenbilde alle ſechs Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau ꝛc. Ein am Ocularglaſe des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, deſſen Axe horizontal ſtehen muß, wenn die Oeffnung des Schirmes vertical iſt, zeigt, daß die der Axe nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Lichte beſtehen, daß es aber die weiter von der Axe entfernten allmälig werden. Je kleiner die Oeffnung am Schirme iſt, deſto mehr rücken die Farbenbilder aus der

Mitte des Geſichtsfeldes und deſto breiter werden ſie, ſo, daß die Ablenkungswinkel des Lichtes ſtets der Breite der Oeffnung verkehrt proportionirt ſind. Die Abſtände beſtimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen wachſen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Die Breite der Oeffnung am Fenſter, durch welche man das Licht einläßt, hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, ſie beſtimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüſchel bei einer verticalen Spalte gleichſam aus verticalen Lichtlinien beſteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Oeffnung verurſacht das Aufeinanderfallen mehrerer ſolchen Bilder eine Undeutlichkeit, daher es auch kommt, daß bei einer gewiſſen Größe der Spalte alle Farben verſchwinden. — Fällt das Licht durch eine runde Oeffnuug auf einen Schirm, der eine quadratförmige genau geradlinige Oeffnung mit ſcharfen Ecken hat; ſo wird es ſowohl in horizontaler als verticaler Richtung gebeugt, und man ſieht im Fernrohre ein farbiges Kreuz. Hat aber der Schirm eine kleine runde Oeffnung, ſo erſcheinen farbige Ringe. Iſt die Oeffnung des Schirmes ringförmig, ſo erſcheinen ebenfalls Ringe, aber ihr Durchmeſſer und deren Verhältniß zu einander iſt verſchieden von dem im vorhergehenden Falle, übrigens aber nur von der Breite der Oeffnung, nicht vom Durchmeſſer des Ringes abhängig.

143. Iſt das gebeugte Licht gleichartig, ſo erſcheinen ſtatt der Farbenbilder, die ſich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelaſſenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt ſind. Jedoch iſt die Intenſität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, ſondern es gibt in jedem Farbenſtreifen eine am ſtärkſten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtſtärke allmälig abnimmt, und ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr ſich dieſe Streifen von der Mitte entfernen, deſto ſchwächer werden ſie, bis ſie endlich ganz undeutlich und unſichtbar werden. Die Farbenſtreifen ſind im violetten Lichte ſchmäler als im blauen, in dieſem ſchmäler als im grünen und ſo fort bis zum rothen. Hierdurch wird das Farbenſpiel des Beugungsphänomens im weißen Licht begreiflich; es iſt das Reſultat des gleichzeitigen Vorhandenſeyns der den einzelnen Lichtſorten, welche das weiße Licht zuſammenſetzen, entſprechenden Erſcheinungen. Entfernt man die Tafel, worauf man dieſe Farbenſtreifen auffängt, oder die Sammellinſe mehr von der Spalte; ſo rücken dieſe Streifen auch mehr aus einander. Vergleicht man zwei oder mehrere Punkte der Tafel, welche in verſchiedenen Entfernungen von einerlei Lichtſtreifen getroffen werden; ſo findet man, daß der gebeugte Strahl nicht geradlinig von der Spalte ausgehe, ſondern eine hyperboliſche Krümmung habe. Man kann ſich hierbei überzeugen, daß die Natur des Körpes, in welchem ſich die das Licht beugende Oeffnung befindet, ſo wie die Geſtalt desſelben auf die Beſchaffenheit und relative Folge der Farbenſtreifen gar

keinen Einfluß habe. Die Schneide und der Rücken eines Barbiermeſſers, ein geſchwärzter und ein polirter Draht, und Körper vom verſchiedenſten Brechungsvermögen gewähren dieſelben Phänomene der Beugung, und alles hängt nur von der mathematiſchen Begrenzung der Oeffnung oder des beugenden Körpers, nicht von der Natur des Schirmes ab. Uebrigens werden nicht bloß die nächſten am Rande der Spalte vorbeigehenden Strahlen gebeugt, ſondern auch die merklich davon entfernten.

144. Stellt man vor das Objectiv des Fernrohres, auf welches weißes Licht fällt, einen Schirm mit zwei gleichen ſchmalen einander nahen Oeffnungen, ſo ſieht man Spectra, welche denen ganz ähnlich ſind, die eine einzelne dieſer Oeffnungen für ſich geben würde; aber in der Mitte des Geſichtsfeldes (vorausgeſetzt, daß die Axe des Fernrohres gegen die Spalte am Fenſter gerichtet iſt) finden ſich ſtatt des weißen Streifens, den Eine der Oeffnungen gegeben hätte, ſchmale Farbenbilder vor, durch welche dieſer Streifen getheilt wird; die Mittellinie des Geſichtsfeldes nimmt ein weißer Streifen ein. Wendet man einen Schirm mit drei Oeffnungen an, ſo entſtehen zwiſchen den ſo eben erwähnten Farbenbildern in der Mitte des Geſichtsfeldes neue, deren Zahl ſich vermehrt, während ſie an Breite abnehmen, wenn man einen Schirm mit vier, fünf Spaltöffnungen u. ſ. w. vor das Objectiv bringt. Hiebei ändern ſich die äußeren Farbenbilder nur wenig. Um dieſe Erſcheinungen wahrzunehmen, bediene man ſich eines Gitters mit vielen gleichen parallelen Zwiſchenräumen, ſetze vor dasſelbe einen Schirm mit einer Spalte, die ſich erweitern läßt, und geſtatte ſo allmälig dem Lichte durch mehrere dieſer Spaltöffnungen den Eingang in das Fernrohr. Tritt eine große Anzahl Oeffnungen in Wirkſamkeit, ſo werden der letzteren Farbenbilder ſo viele, und ſie ſelbſt ſo ſchmal, daß ſie zuletzt kaum merklich ſind, und der weiße Streifen in der Mitte des Geſichtsfeldes geſtaltet ſich immer mehr zum Bilde der Oeffnung am Fenſterladen. Man hat daher, wenn Strahlen durch eine geringe Anzahl von gleichen parallelen Spaltöffnungen ins Fernrohr kommen, dreierlei Spectra zu unterſcheiden, äußere, oder nach Fraunhofer, Spectra der erſter Claſſe, die ſchon bei einer einzigen beugenden Spaltöffnung vorhanden ſind; mittlere oder Spectra der zweiten Claſſe, die bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen eintreten und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich forterhalten; innere oder Spectra der dritten Claſſe, die erſt bei drei Spaltöffnungen entſtehen, und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich vervielfältigen und weniger merklich werden. Aus genauen Meſſungen folgt: 1) Bei einem und demſelben Gitter, aber einer verſchiedenen Anzahl Oeffnungen verhalten ſich die Abſtände derſelben unvollkommenen Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verſchiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwiſchenräume wachſen die Abſtände derſelben Farbenbilder von der Axe, wie verkehrt die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 3) Die Abſtände der einzelnen Farben-

bilder von der Axe wachſen, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt.

145. Macht man dieſen Verſuch mit homogenem Lichte, ſo ſieht man die von dieſem Lichte herrührenden Antheile der Spectra der zweiten Claſſe ſich bei wachſender Anzahl der Oeffnungen nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes, ſondern auch an den übrigen Orten zu Bildern der Oeffnung am Fenſterladen geſtalten, zwiſchen welchen ſich die dem gewählten Lichte entſprechenden Antheile der Spectra der dritten Claſſe zeigen, die alſo auch nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes vorhanden ſind. Die Dimenſionen der Erſcheinung ſind für rothes Licht am größten und nehmen bis zum violetten ſtufenweiſe ab.

146. Läßt man endlich weißes Licht durch eine ſehr große Anzahl ſchmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich ſind, indem man ein Gitter mit ſehr vielen kleinen Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohrs ſtellt und durch eine ſchmale Oeffnung Licht darauf leitet; ſo ſieht man die Oeffnung am Helioſtat wie ohne Gitter (Fig. 262) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen ſymmetriſch, eine große Anzahl Farbenbilder, wie die, welche ein gutes Prisma hervorbringt; ſie werden breiter, aber auch matter, ſo wie ſie ſich von der Mitte entfernen. Die erſten ſind durch dunkle Zwiſchenräume von einander getrennt, dieſe werden aber bei den folgenden immer ſchmäler, bis ſie ganz verſchwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, ſich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in dieſen Farbenbildern die dunklen Linien, zum Beweiſe, daß die Spectra aus homogenem Lichte beſtehen. Zugleich finden folgende Geſetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verſchiedenen Gittern aus ſehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwiſchenräumen verhalten die Sinuſſe der Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinuſſe der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verſchiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Das Auftreten der Spectra mit homogenem Lichte erklärt ſich leicht aus 145. Jedes ſolche Spectrum iſt die Aufeinanderfolge der Bilder der Spalte am Fenſterladen für einfache Lichtſorten von verſchiedener Farbe. Wo Licht von einer gewiſſen Abſtufung mangelt, erſcheint eine Lücke als dunkle Linie. Die Bilder in der Mittellinie des Geſichtsfeldes decken ſich, und geben daher ein weißes Bild der Spalte am Fenſter.

Gitter zu dieſem Verſuche erhält man am beſten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge ſehr feiner Schrauben ſpannt, oder wenn man in ein mit Goldplättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas ſolche Linien zieht. Fraunhofer bediente ſich bei den ſubtilſten Verſuchen dieſer Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601 Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet nur 0.0001223 P. Zoll von einander abſtanden.

147. Befindet ſich das Gitter in verſchiedenen brechenden Flüſſigkeiten, ſo verhalten ſich die Sinuſſe der Ablenkungswinkel gleichfarbiger Strahlen desſelben Spectrums umgekehrt, wie die Brechungsexponenten dieſer Flüſſigkeiten.

148. Sehr überraſchende Erſcheinungen, die an Farbenpracht und Symmetrie alle optiſchen Erſcheinungen weit hinter ſich laſſen, zeigen ſich, wenn Strahlen durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen, mithin Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt ſind, zuſammen wirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, ſo erblickt man darin die Erſcheinung, welche Fig. 263, a, vorſtellt, wo die weißen Räume Farbenbilder ſind. Bei drei ſolchen Oeffnungen, deren Mittelpunkte ein gleichſeitiges Dreieck geben, ſieht man das Phänomen, welches Fig. 263, b, andeutet. Unbeſchreiblich prächtig ſind die Erſcheinungen, die man erhält, wenn das Licht durch viele gleich geſtaltete, und in ſymmetriſcher Anordnung neben einander abſtehende kleine Oeffnungen ins Fernrohr tritt. Sie hängen von der Geſtalt und Anordnung dieſer Oeffnungen ab, laſſen ſich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

Als Beleg des Geſagten mag die von Fraunhofer zuerſt dargeſtellte Beugungserſcheinung dienen, welche zwei gekreuzte Gitter mit gleichen Spaltöffnungen geben, wodurch gleichſam ein Gitter mit quadratiſchen gleichen und gleichweit von einander abſtehenden Oeffnungen entſteht; ferner die eines Gitters mit vielen regelmäßig geſtellten dreieckigen Oeffnungen, dergleichen von Herſchel und Schwerd conſtruirt wurden, wobei die dichten Gruppen der farbigen Spectra durch die Radien eines ſechsſtrahligen Sternes geſondert erſcheinen u. dgl.

149. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es ſo, daß das von demſelben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; ſo gewahrt man alle Erſcheinungen, die im directen Lichte bei demſelben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abſtände von der Axe ſind deſto größer, je ſchiefer das Licht einfällt.

Aus den angeführten Beugungsgeſetzen erklären ſich mehrere Erſcheinungen. Z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug, oder durch ein mit Hexenmehl beſtreutes Glas auf einen nicht zu nahen, ſtark beleuchteten Punkt ſieht; das Farbenſpiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch ſie nach der Sonne blickt; die Lichtſtreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planſpiegel; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinſterniſſen; die dunklen Streifen, welche man zwiſchen den eng an einander geſchloſſenen geſtreckten Fingern ſieht ꝛc. Faſt noch fruchtbarer ſind die Beugungsgeſetze reflectirter Strahlen. Man erklärt daraus das lebhafte Farbenſpiel des Barton'ſchen Irisſchmuckes, ja ſelbſt das bekannte Farbenſpiel der Perlmutter; denn Brewſter überzeugte ſich, daß die Oberfläche derſelben ſehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man dieſe iriſirende Eigenſchaft anderen weichen Subſtanzen, z. B. Siegellack, arabiſchem Gummi, Stannifolio,

ſelbſt Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieſelbe Lichterſcheinung auch an der Oberfläche eines ſtark eingekochten Gallerts aus Kalbsfüßen. Zu dieſen Erſcheinungen gehört auch das Farbenſpiel der Flügeldecken einiger Inſecten, das Schillern abgeſtandener Gläſer, vieler Färbeſtoffe, z. B. des trockenen Waides ꝛc. Die von Herſchel beobachteten Erſcheinungen, indem er ein ſtark vergrößerndes Fernrohr gegen einen hellen Stern richtete und vor das Objectiv eine Blendung ſetzte, gehören ganz in die Claſſe der gewöhnlichen Beugungsphänomene. Der Stern dient hier als Lichtpunkt.

150. So lange das Licht auf ein durchſichtiges oder undurchſichtiges Gitter ſenkrecht einfällt, erſcheinen die durch Beugung entſtandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen ſymmetriſch angeordnet, bei ſchief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf, und die einzelnen Spectra erſcheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen ſpitzigen Winkel macht, größer als an der anderen; dieſe Ungleichheit wächſt mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Außer dieſem hängt auch noch eine beſondere Modification der Lichtſtärke einzelner Stellen in den Farbenbildern vom Einfallswinkel ab. Brewſter hat nämlich gefunden, daß die Farbenbilder bei ſchief einfallendem Lichte an beſtimmten Stellen ein Minimum ihrer Intenſität erreichen. Die Lage dieſer Stellen hängt von der Beſchaffenheit des Gitters und vom Einfallswinkel ab, und kann, wenn ſich dieſer Winkel ſucceſſiv ändert, wieder in dieſelbe Farbe desſelben Spectrums, aber auf eine andere Stelle desſelben fallen. Bei einer Vergrößerung dieſes Winkels tritt ein ſolches Minimum zuerſt am Roth des innerſten Spectrums ein, und rückt durch alle Farben bis zum Violett vor. Während dieſes aber mit dem innerſten Spectrum Statt findet, tritt es auch ſchon an den darauf folgenden Farbenbildern ein. Brewſter hat dieſen Gegenſtand vorzüglich im reflectirten Lichte unterſucht. (Zeitſch. 8. 202.)

151. Die Erſcheinungen, welche ſich bei der Beugung des Lichtes durch einen dünnen Draht darbieten und mit einer Loupe zu beobachten ſind, zeigen ſich denjenigen ähnlich, die ein Schirm mit zwei engen parallelen und gleichen Spaltöffnungen bei derſelben Beobachtungsweiſe hervorbringt. Man ſieht nämlich da zu beiden Seiten des beugenden Körpers oder ſeines Schattens Farbenſtreifen, überdieß aber noch andere innerhalb der Grenzen dieſes Körpers oder ſeines Schattens, welche durch dunkle Linien von einander geſondert ſind. Die äußeren Farbenſtreifen erblickt man faſt eben ſo, wenn das von einer leuchtenden Linie ausgehende Licht an der Seite eines breiten Körpers vorbeigeht. Im homogenen Lichte iſt die Anzahl derſelben größer als im weißen, weil ſich in letzterem die den verſchieden farbigen Strahlen zugehörenden theilweiſe decken.

Eilftes Kapitel.

Interferenz des Lichtes und Farben dünner Körper.

152. Die Erſcheinungen des gebeugten Lichtes deuten darauf hin, daß Strahlen, die unter einem ſehr kleinen Winkel zuſammentreffen, auf einander einwirken. Man nennt dieſe Einwirkung Interferenz des Lichtes. Obgleich ſchon Hook (1667) von ihr ſpricht, blieb ſie dennoch ganz unbeachtet, bis in neueſter Zeit Young (1800) die Aufmerkſamkeit der Phyſiker darauf lenkte, und Fresnel ihre Realität außer allen Zweifel ſetzte.

153. Die Interferenz des Lichtes gibt ſich bei der Vergleichung des Beugungsphänomens zweier gleichen einander nahen Spalten mit dem von einer einzelnen Spalte herrührenden deutlich zu erkennen. Da nämlich die äußeren Spectra oder Farbenſtreifen in beiden Fällen dieſelben ſind, ſo verdanken die im erſten Falle vorhandenen mittleren Spectra ihr Entſtehen dem Zuſammenwirken des Lichtes, das durch beide Spalten geht, und an ihren Rändern gebeugt wird. Da ferner, zumal bei Anwendung homogenen Lichtes, die Helligkeit der mittleren Spectra mehrere Maxima und Minima zeigt, und in letzteren bis auf Null herabſinkt; ſo wird man zu dem Schluſſe geführt, daß zwei in demſelben Punkte zuſammenkommende Lichtſtrahlen nicht jederzeit eine Verſtärkung des Lichtes bewirken, ſondern unter gewiſſen Umſtänden auch einander zu ſchwächen, ja ſelbſt gänzlich zu vernichten vermögen. Zu demſelben Schluſſe berechtiget die Vergleichung des Beugungsphänomens eines dünnen Drahtes mit der Erſcheinung, die ſich zeigt, wenn man an einer Seite des Drahtes das Licht vorbei zu gehen hindert. Die äußeren Streifen im erſten Falle ſtimmen mit den im letzteren allein vorhandenen faſt überein; die Linien im Innern des geometriſchen Schattens des Drahtes ſind alſo ein Erzeugniß des Aufeinanderwirkens des an beiden Rändern gebeugten Lichtes.

154. Allein nicht bloß das durch Beugung von ſeinem urſprünglichen Wege abgelenkte, ſondern auch ungebeugtes Licht iſt unter günſtigen Umſtänden der Interferenz fähig. Es müſſen nämlich zur Hervorbringung derſelben, wie die Erfahrung lehrt, die Lichtſtrahlen von einerlei Lichtquellen kommen, unter einem ſehr ſpitzen Winkel zuſammentreffen, und ihre Wegdifferenz darf nicht bedeutend ſeyn. Dieſen Bedingungen genügt man, wie Fresnel gezeigt hat, wenn man von einem leuchtenden Punkte auf zwei unter einem ſehr ſtumpfen Winkel gegen einander geneigte Spiegel, oder auf ein ſehr flaches dreiſeitiges Prisma Strahlen fallen läßt. Die nach der Reflexion oder Brechung einander durchkreuzenden Strahlen bringen ein Interferenzphänomen hervor, welches man wahrnimmt, wenn man das mit einer Loupe verſehene Auge in einiger Entfernung vor die Durchſchnittslinie der Spiegelflächen oder die Kante des ſtumpfen Winkels am Prisma bringt, und gegen die Mitte der Verbindungslinie der zwei Bilder des leuchtenden Punktes hinſieht, die durch die Spiegel oder durch die brechenden Flächen des Prisma's erzeugt werden. Man erblickt da

im weißen Lichte eine Reihe heller Streifen, die mit der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen oder mit den Kanten des Prisma's parallel laufen, und zwiſchen welchen, in nahe gleichen Abſtänden von einander, ſich Linien befinden, wovon die mittleren ſcharf begrenzt und dunkel, die entfernteren aber minder ſcharf begrenzt und farbig erſcheinen, und immer heller werdend ſich allmälig in dem lichten Grunde des Phänomens verlieren. Im homogenen Lichte iſt die Anzahl der dunklen Linien weit beträchtlicher als im weißen, und die der Mitte nahe ſtehenden ſind intenſiv ſchwarz; ändert man die Farbe des Lichtes, vom rothen gegen das violette fortſchreitend, ſo rücken die dunklen Linien immer näher an einander; ihre Abſtände ſind bei rothem Lichte faſt noch einmal ſo groß, als bei violettem. Hiernach erklärt ſich die Beſchaffenheit der Erſcheinung im weißen Lichte von ſelbſt; dieſe iſt nämlich das Reſultat der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen, welche die einzelnen farbigen Lichtſorten, die im weißen Lichte enthalten ſind, für ſich hervorbringen würden; in der Mitte kommt Licht von allen Farben zuſammen und erzeugt den weißen Streifen, den man da ſieht; zu beiden Seiten desſelben fallen auch die benachbarten dunklen Linien der intenſivſten Farben nahe an einander; in einiger Entfernung dagegen mengen ſich die hellen und dunklen Theile der verſchiedenen Farben dergeſtalt, daß die Undeutlichkeit immer größer wird, und man keine Abſtufungen der Lichtſtärke und keine Färbung mehr gewahr wird. Unter übrigens gleichen Umſtänden nimmt die Breite der Streifen zu, wenn der Winkel der Spiegel oder die Kante des Prisma's ſtumpfer wird; eben ſo, wenn der Beobachter ſich von den Spiegeln oder vom Prisma entfernt. In jeder Hinſicht aber ſtimmt das hier beſchriebene Phänomen mit demjenigen überein, welches die Beugung des von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtes an zwei neben einander befindlichen engen Spalten in der Mitte des Geſichtsfeldes gewährt, wenn die ſcheinbare Entfernung der Spalten von einander der ſcheinbaren Diſtanz der Bilder des leuchtenden Punktes bei dem Verſuche mit den Spiegeln oder mit dem Prisma gleichkommt, und die Beobachtung ebenfalls mittelſt der Loupe geſchieht.

Den Interferenzverſuch bringt man am leichteſten mit einem zu dieſem Behufe geſchliffenen Prisma zu Stande. Iſt LMN (Fig. 264) der Durchſchnitt des Prisma's, deſſen Flächenwinkel bei L und M einander gleich und ſehr ſpitz ſind, S der leuchtende Punkt, welcher ſo ſtehe, daß die Gerade SN, die von ihm zur ſtumpfen Kante N geht, die LM ſenkrecht durchſchneide, ſo werden zwei Strahlen wie SA, SB bei ihrem Austritte an den Flächen LN, MN dergeſtalt gebrochen, daß ſie ſich in I durchkreuzen. Befindet ſich dieſer Punkt innerhalb der Brennweite eines Sammelglaſes, zu welchem die genannten Strahlen nach ihrer Durchkreuzung gelangen, ſo werden ſie nach der Brechung von einem entfernteren, in der von der Mitte der Linſe durch I geführten Geraden liegenden Punkte herzukommen ſcheinen, und hat die Linſe eine ſolche Stellung gegen das hinter ihr befindliche Auge, daß letzterer Punkt in der Sehweite desſelben liegt, ſo wird das Auge den Erfolg der in I vor ſich gehenden Interferenz der Strahlen AI, BI wahrnehmen. Iſt die Entfernung des leuchtenden Punktes S vom

Prisma nicht zu gering, ſo ſcheinen alle durch die Flächen L N, M N austretenden Strahlen nahe von zwei Punkten S′, S″ herzukommen, die ſich alſo wie Bilder von S verhalten. Um die vortheilhafteſte Stellung des Auges gegen die Loupe zu erkennen, ſeyen S′, S″, Fig. 165, die letztgenannten Punkte und H K die Loupe. Betrachtet man S′S″ wie einen leuchtenden Gegenſtand, ſo wird von dieſem ein Bild s′s″ hinter der Loupe entſtehen, welches man ohne merklichen Fehler findet, wenn man von S′ und S″ durch die Mitte der Loupe die Hauptſtrahlen S′E, S″E zieht, und auf deren Verlängerungen E s′ und E s″ der Brennweite der Loupe gleich annimmt. Jeder von S′ kommende Strahl S′F geht demnach durch s′, und jeder von S″ kommende S″G geht durch s″. Nimmt demnach die Pupille des Auges den Ort s′s″ ein, ſo iſt es an der vortheilhafteſten Stelle, denn es empfängt die möglich größte Menge der ſich interferirenden Strahlen. Liegt der Durchſchnittspunkt I′ der Richtungen s′F, s″G in der Sehweite, ſo ſind es gerade die Strahlen S′F, S″G, deren in I vor ſich gehende Interferenz die Erſcheinung bedingt, die das Auge in I′ ſieht. Die mit der Brechung des Lichtes im Prisma verknüpfte Farbenzerſtreuung bringt eine Färbung der Interferenzſtreifen hervor, welche man bei Anwendung der Spiegel vermeidet. Deßhalb, und weil man durch Aenderung des Winkels der Spiegelflächen eine Mannigfaltigkeit der Erſcheinung hervorrufen kann, die das Prisma nicht geſtattet, hat der Spiegelapparat vor dieſem einen Vorzug. Die Spiegel ſollen entweder aus Metall oder aus ſchwarzem Glaſe verfertiget ſeyn; indeſſen kann man ſich auch mit geſchwärzten Glasplatten behelfen, wenn nur die ſpiegelnden Flächen gehörig eben ſind. Um den Verſuch mit Bequemlichkeit und Sicherheit des Erfolges anſtellen zu können, müſſen ſich die Spiegel in einer Faſſung befinden, die den Neigungswinkel derſelben ein wenig zu ändern geſtattet. Da die Kanten, mittelſt welcher die Spiegel an einander grenzen, ſtets gut an einander paſſen müſſen, ſo iſt nebſt einer Vorrichtung zur Regulirung der Kanten auch noch erforderlich, daß die Drehungsaxe des Spiegels, der zum Behuſe der Aenderung des Winkels bewegt wird, genau mit ſeiner Kante zuſammenfalle, damit dieſe Kante während der Drehung des Spiegels nicht vor oder hinter die Kante des andern trete. Bringt man die beiden Spiegelflächen zuerſt genau in eine Ebene, was man erreicht hat, wenn ſie wie ein einziger Spiegel wirken, mithin keine Spur einer Verdoppelung der Bilder zu bemerken iſt, ſo darf man nur den einen Spiegel äußerſt wenig gegen den andern neigen, um eine brauchbare Stellung der Spiegel zu erhalten. Uebrigens iſt es räthlich, den Einfluß jeder Veränderung, die man an der Stellung der Spiegel vornimmt, auf das Phänomen ſogleich mittelſt der Loupe zu prüfen, wodurch man die Handgriffe, die zur Erzielung der höchſten Reinheit desſelben nöthig ſind, am beſten kennen lernt. Als leuchtender Punkt kann, zumal wenn die Beobachtung, wie es bei Meſſungen nöthig iſt, längere Zeit dauern ſoll, das Sonnenbild im Brennpunkte einer mikroſkopiſchen Linſe dienen, der man mittelſt eines Spiegels Licht zuſendet. Der Umſtand, daß die Interferenzlinien der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen parallel ſind, geſtattet, ſtatt eines leuchtenden Punktes, eine dieſer Durchſchnittslinie parallele leuchtende Linie anzuwenden. Die von jedem Punkte erzeugten Linien fallen in einander und verſtärken ſich wechſelſeitig. Hiedurch erhält man nicht nur mittelſt Kerzen- oder Lampenlichtes eine ſehr deutliche Darſtellung des Interferenzphänomens, ſondern man iſt auch im Stande, bei Anwendung des Sonnenlichtes, dasſelbe auf eine weiße Tafel mit der größten Schärfe zu projiciren. Jedenfalls iſt es vortheilhaft, das Licht ſehr

ſchief auf die Spiegel fallen zu laſſen. Will man dieſes Phänomen in homogenem Lichte betrachten, ſo zerlege man das mittelſt eines Helioſtates durch eine Spalte am Fenſterladen geleitete Licht mit Hülfe eines Prisma's, und fange das Farbenbild mit einem Schirme auf, an welchem ſich eine ſchmale Spalte befindet, die nur Strahlen von einer beſtimmten Farbe auf die Spiegel gelangen läßt. Um jedoch das Beugungsphänomen, welches letztere Spalte erzeugt, wegzuſchaffen, iſt es gut vor dieſelbe ein cylindriſches Sammelglas zu ſetzen. Auch die Durchkreuzung directer Lichtſtrahlen mit reflectirten bringt Interferenz hervor. Iſt nämlich S ein leuchtender Punkt oder eine leuchtende Linie, wovon ein Strahl SH, Fig. 266, ſehr ſchief auf den geſchwärzten Spiegel MN fällt und nach HI reflectirt wird, ſo durchkreuzt derſelbe jeden vor dem Spiegel vorbeigehenden Strahl SI, und modificirt deſſen Intenſität. Das Interferenzphänomen läßt ſich gut mittelſt einer ſtark vergrößernden Loupe beobachten, die man dem Spiegel gehörig nahe bringt.

155. Aus dem Hergange des in homogenem Lichte beobachteten Interferenzphänomens erhellet, daß jeder einzelne helle oder dunkle Streifen durch Lichtſtrahlen gebildet wird, die vom leuchtenden Punkte an gerechnet, Wege zurückgelegt haben, zwiſchen denen eine gewiſſe conſtante Differenz beſteht. Es entſteht nämlich 1) der leuchtende Streifen, welcher ſich als die Mittellinie des Phänomens offenbart, aus Strahlen, die vom leuchtenden Punkte bis zum Durchſchnittspunkte gerechnet, gleiche Wege zurückgelegt haben, d. i. deren Wegdifferenz $=0$ iſt. 2) Die nächſten zwei leuchtenden Streifen, wovon einer links der andere rechts gegen den mittleren ſteht, werden durch Strahlen gebildet, deren Wege ſich um eine gewiſſe Größe, deren Betrag für beide Streifen derſelbe iſt, unterſcheiden. Dieſe Größe wollen wir ω nennen. 3) Der zweite Streifen, rechts und links vom mittleren, entſteht aus Strahlen, deren Differenz der Wege 2ω iſt. 4) Im Allgemeinen iſt der Unterſchied der Wege der Strahlen, welche farbige Streifen geben $0, \omega, 2\omega, 3\omega, \ldots. n\omega$. 5) Die zwiſchen den leuchtenden Streifen befindlichen dunklen werden durch Strahlen gebildet, deren Unterſchied der Wege durch $1/2\,\omega$, $3/2\,\omega$, $5/2\,\omega \ldots.$ ausgedrückt wird. 6) Für verſchiedenfarbige Strahlen iſt auch der abſolute Werth von ω verſchieden, und zwar für die rothen am größten, für die violetten am kleinſten. (Die numeriſchen Werthe derſelben folgen ſpäter.)

156. Läßt man den einen Theil der ſich interferirenden Strahlen durch ein heterogenes Mittel gehen, bevor ſie mit den andern zuſammentreffen, ſo verſchieben ſich die Interferenzſtreifen, und zwar hängt die Größe der Verſchiebung von der Dicke der heterogenen Schichte und von ihrem Brechungsvermögen ab. Es bringt daher der Durchgang eines Strahles, der einen andern interferirt, durch ein fremdes Mittel dieſelbe Wirkung hervor, wie eine Aenderung der Wegdifferenz der Strahlen.

Man überzeugt ſich von der Richtigkeit dieſer Thatſache am leichteſten mit Hülfe einer Doppelſpalte, vor deren eine Oeffnung man ein dünnes Glimmerplättchen ſetzt, und wie bei dem vorigen Verſuche ver-

fährt. Die Beobachtung kann hier mittelſt einer Wilſon'ſchen Loupe oder mittelſt eines Fernrohres geſchehen. Die äußeren Beugungsſpectra bleiben ungeſtört; aber die mittleren rücken ſeitwärts und erſcheinen innerhalb des Raumes den erſtere einnehmen.

157. Die durch die oben angeführten Verſuche feſtgeſtellte Thatſache des Aufeinanderwirkens zweier Lichtſtrahlen, aus welchem, ſtatt einer Verſtärkung der Intenſität des Lichtes, wie man auf den erſten Blick vermuthet hätte, ſogar ein Aufheben des Lichtes hervorgehen kann, iſt eine der wichtigſten in Beziehung auf die Vorſtellung, die man ſich über die Natur des Lichtes zu bilden vermag; dieſe Wichtigkeit wird aber noch durch das beſondere Verhalten des geradlinig polariſirten Lichtes bei der Interferenz erhöht. Wie nämlich Arago und Fresnel im Jahre 1816 entdeckt haben, geht die Interferenz zweier Bündel geradlinig polariſirten Lichtes, wenn die Polariſationsrichtungen derſelben parallel ſind, genau ſo vor ſich, wie ſie unter den nämlichen Umſtänden mit gewöhnlichem Lichte Statt findet; ſobald aber die Polariſationsrichtungen einen ſchiefen Winkel machen, geht die Schwächung der Lichtintenſität nicht mehr bis zur Vernichtung des Lichtes, und beträgt um ſo weniger, je größer der Winkel der Polariſationsrichtungen iſt, weßwegen das Interferenzphänomen ſelbſt in gleichem Grade an Deutlichkeit verliert; ſtehen endlich die Polariſationsrichtungen auf einander ſenkrecht, ſo fällt jede Schwächung des Lichtes und mithin auch die Wahrnehmbarkeit des Interferenzphänomens hinweg.

Verſuche zum Beweiſe dieſer wichtigen Thatſache macht man am beſten mit zwei gleichen parallelen Spalten, die man vor das Objectiv eines Fernrohres bringt, und vor welchen ſich zum Behufe der Polariſirung der durch dieſelben hindurchgehenden Lichtbündel entweder zwei gleiche Turmalinplättchen, oder zwei gleich dicke Säulen aus Glas oder Glimmertafeln befinden, deren Lage die relative Stellung der Polariſationsebenen der durch dieſe Spalten gehenden Lichtbündel beſtimmt. Setzt man vor die beiden Spaltöffnungen zwei gleich dicke, der Kryſtallaxe parallel geſchnittene Bergkryſtallplatten, ſo ſieht man, je nachdem die Axen parallel oder gegen einander geneigt oder auf einander ſenkrecht ſtehen, das gewöhnliche Interferenzphänomen, oder dieſes in geringerer Intenſität und zu beiden Seiten desſelben ebenfalls Interferenzſpectra, oder nur letztere allein. Nennen wir nämlich die in beiden Spalten durch gewöhnliche Brechung des Lichtes ſich ergebenden Strahlen O und O′, die durch ungewöhnliche Brechung entſtehenden E und E′; ſo interferiren ſich im erſten Falle bloß O und O′, ferner E und E′, und die Spectra coincidiren; im zweiten kommen noch die Interferenzen von O mit E′ und von O′ mit E hinzu; im dritten interferiren ſich bloß die letzteren zwei Strahlenſyſteme. Die Ausſchließung der Interferenz von O mit E′ und von O′ mit E im erſten Falle, und der Interferenz von O mit O′ und von E mit E′ im dritten lehrt, daß rechtwinkelig zu einander polariſirte Strahlen durch Interferenz keine Modification der Intenſität des Lichtes erzeugen.

158. So oft die Bedingungen, an welche das Auftreten der Interferenzphänomene gebunden iſt, vorhanden ſind, ſtellt ſich eine ſolche Erſcheinung ein. Das von dünnen Plättchen reflectirte oder gebro-

chene Licht erfüllt dieſe Bedingungen, und macht es wahrſcheinlich, daß die Farben dünner Fiſchſchuppen, Glaskugeln, Seifenblaſen, dünner Schichten von Waſſer oder Weingeiſt, ja ſelbſt jene der in den feinen Sprüngen vieler Körper enthaltenen Luftplättchen von der Lichtinterferenz herrühren. Es ſind nämlich dünne Plättchen der Körper durchſichtig, und ein Theil des auf ſie auffallenden Lichtes wird an der Vorderfläche, der andere an der Hinterfläche des Plättchens zurückgeworfen; ein Theil des gebrochenen Lichtes hat aber bloß eine Brechung, der andere eine Brechung und zwei Reflexionen erlitten. Es ſey z. B. MN (Fig. 267) ein dünnes Plättchen, SA ein Strahl, wovon ein Theil in A nach Ax reflectirt wird, während der andere in der Richtung AB ins Plättchen eindringt. Ein anderer mit SA paralleler Strahl S A′ erleide eben ſo in A′ eine partielle Reflexion und eine Brechung in der Richtung A′B′, in B′ aber eine Reflerion nach B′A und in A eine partielle Brechung von der Art, daß der gebrochene Theil desſelben mit dem reflectirten des Strahles SA zuſammenfällt. Einer dieſer zwei zuſammenfallenden Strahlen hat daher den Weg SA + Ax, der andere den Weg S′A′ + A′B′ + B′A + Ax zurückgelegt. Der Theil B′A des Strahles S′A′ erfährt in A eine partielle Reflexion nach AB, und dieſer Theil ſchlägt beim Austritt in B den Weg By ein; eben dieſen Weg nimmt aber auch der in A gebrochene Antheil des Strahles SA nach der Brechung in B. Alſo treffen wieder in By zwei Strahlen zuſammen, deren einer den Weg SA + AB + By, der andere den Weg S′A′ + A′B′ + B′A + AB + By zurückgelegt hat. Zu dieſen geſellen ſich noch andere Strahlen S″A″, S‴A‴ u. ſ. w., wovon Theile nach mehreren Reflexionen an den beiden Flächen des Plättchens bei A und B nach den Richtungen Ax, By austreten, und daher wieder andere Wege zurückgelegt haben. Alles dieſes zeigt aber bloß die Möglichkeit einer Erklärung der Farben dünner Plättchen aus der Interferenz. Um die volle Zuläßigkeit dieſer Erklärung zu erweiſen, muß man vorläufig die Geſetze dieſer Farbenerſcheinungen kennen lernen.

159. Die Farben dünner Plättchen zeigen ſich anders im durchgelaſſenen Lichte als im reflectirten, ändern ſich mit der Natur und Dicke der Plättchen, ſo wie mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Um ihre Geſetze erforſchen zu können, muß man vor allem verſuchen, ſie an Plättchen von einerlei Natur und verſchiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich eine ebene Glasplatte A (Fig. 268), auf die man ein wohl centrirtes Converglas B von großem Halbmeſſer legt. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle, und ſteht rings um dieſe Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann dieſen Abſtand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwiſchen den zwei Gläſern irgend eine Flüſſigkeit, z. B. atm. Luft, Waſſer, Weingeiſt ꝛc., ſo füllt ſie denſelben aus, und bildet daher gleichſam concentriſche, an Dicke nach außen wachſende ringförmige Plättchen, ja ſelbſt, wenn man daraus alles Materielle, ſo gut man kann, entfernt, ſo erhält

man ein ſolches, wiewohl nicht von Materie erfülltes Plättchen. Darum hat auch Newton, der dieſe Phänomene einer beſonderen Aufmerkſamkeit gewürdiget, einen ſolchen Apparat gewählt, und er heißt darum auch Newton's Farbenglas. Dieſes bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben auf dieſe Vorrichtung herab, ſo erblickt man in der Mitte einen ſchwarzen Fleck; dieſen umgeben mehrere concentriſche Farbenringe, auf ſie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder ein farbiger und ſo abwechſelnd fort; die Farben werden immer ſchwächer, je größer die Ringe ſind, und verlieren ſich endlich ganz. Die Ordnung der Farben iſt von der Mitte aus folgende: 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, ſcharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulichroth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, ſchwach röthlichweiß. Aehnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelaſſenen Lichte, ſie ſind aber minder hell und an Farbe verſchieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte ſich zeigt, entſpricht im durchgelaſſenen ein anderer, deſſen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beſtändig in derſelben Ordnung auf einander, ſie erſcheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja ſelbſt, wenn ſtatt Luft eine andere Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, Weingeiſt, zwiſchen den Gläſern enthalten iſt; der einzige Unterſchied beſteht in der verſchiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmeſſer der Ringe. In der Regel iſt die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in Luft von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Waſſer zwiſchen den Gläſern ſteht. Die Größe eines Ringes von beſtimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn ſchief anſieht, die Gläſer ſcharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwiſchen den Gläſern enthaltenen Flüſſigkeit vermindert.

160. Newton maß die Durchmeſſer dieſer Ringe mit einer muſterhaften Genauigkeit bei verſchiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verſchiedenen Flüſſigkeiten, und überzeugte ſich, daß unter übrigens gleichen Umſtänden der Durchmeſſer eines Ringes in demſelben Verhältniſſe kleiner werde, in welchem das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit zunimmt; eine Wahrheit, die deßhalb ſehr wichtig iſt, weil ſie lehrt, wie man die bei Einer Flüſſigkeit erhaltenen Reſultate auf alle anderen ausdehnen kann.

161. Ungeachtet aller dieſer Bemühungen war das Phänomen der Farbenringe noch immer wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des einfallenden Lichtes zu verwickelt, als daß man es in ſeine Elemente hätte zerlegen können. Deßhalb ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen. Da zeigten ſich folgende Erſcheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von ſeiner eigenen Farbe, ſowohl durch Reflexion als durch Transmiſſion. 2) Jeder Ring iſt ſowohl im reflectirten als durchgelaſſenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt; man kann deßhalb jeden

einzelnen beſſer als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwiſchenraum wird deſto ſchmäler, je mehr ſich die Ringe vom Mittelpunkte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwiſchenraume im reflectirten Lichte entſpricht im durchgelaſſenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwiſchenraum iſt, da befindet ſich im erſteren ein Farbenring; jedoch ſind dieſe dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelaſſenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet iſt, ſondern die Lichtſtärke verliert ſich von einem Kreiſe in der Mitte jedes Ringes aus allmälig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmeſſer der reflectirten Farbenringe vom hellſten Punkte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ꝛc. 6) Die Quadrate der Halbmeſſer der dunklen Zwiſchenräume wachſen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 ꝛc. 7) Bei den durchgelaſſenen Farbenringen entſpricht der hellſte Kreis dem dunkelſten im reflectirten Lichte; es findet daher hier dasſelbe Verhältniß bei den dunklen Zwiſchenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmeſſer eines Ringes von derſelben Ordnung wird deſto kleiner, je brechbarer das Licht iſt, das ihn bildet. So iſt z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen. Dieſes erſtreckt ſich ſogar auf die Unterſchiede der Brechbarkeit im Lichte von derſelben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußerſten Roth des prismatiſchen Farbenbildes erſcheint größer, als einer von derſelben Ordnung, der vom mittleren Roth entſtand. 9) Auch die Breite eines Ringes derſelben Ordnung iſt deſto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes iſt. 10) Die Ringe ſind in jedem Strahle am kleinſten, wenn das Licht ſenkrecht durch die Luftſchichte geht, und werden deſto größer, je ſchiefer der Strahl einfällt.

Um die Erſcheinungen der Farbenringe ſo einzurichten, daß ſie von mehreren Perſonen zugleich betrachtet werden können, wie dieſes bei Vorleſungen nöthig iſt, bediene man ſich zweier, ſehr kleiner Convexlinſen, deren Krümmungen wenig von einander verſchieden ſind, gebe ſie in eine Faſſung, wo ſie feſt gehalten und zugleich nach Belieben mittelſt Schrauben an einander gedrückt werden können, ſetze ſie, wie ein Object, in das Sonnen- oder Lampenmikroſkop ein, und fange das Bild auf einer weißen Tafel auf. Iſt dieſe hinreichend entfernt, ſo erhalten die kleinſten Ringe wenigſtens einen Durchmeſſer von 8 Zoll, und ſind zugleich ſehr deutlich ſichtbar, beſonders wenn man das Licht hinreichend mäßiget. Man kann ſie auch mit einem gewöhnlichen Mikroſkope anſehen.

162. Alle dieſe Phänomene gründen ſich auf die Interferenz des Lichtes, was wir bereits vorhin angedeutet haben, und im folgenden Kapitel noch weiter ausführen werden. Vorerſt kann einem die Aehnlichkeit zwiſchen den Interferenzphänomenen im weißen und farbigen Lichte mit jenen der Farbenringe bei weißer und farbiger Beleuchtung nicht entgehen. So wie die Interferenzphänomene im weißen Lichte aus dem theilweiſen Zuſammentreffen der einzelnen von jedem farbigen

Strahle herrührenden dunklen und farbigen Streifen herrühren (S.365), eben ſo geht es hier. Es entſtehen nämlich von jedem Strahle ſo viele Ringſyſteme, als er Theile von verſchiedener Brechbarkeit enthält; viele dieſer Ringe fallen zum Theile auf einander, und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie ſie S. 370 aufgezählt ſind. Daß dieſe Anſicht die wahre ſey, kann man ſchon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß unterſucht, welche Ringe auf einem Theile des Glaſes entſtehen, und welche Farbe ſie zuſammen hervorbringen müſſen, dieſe Farbe genau diejenige iſt, welche der Verſuch nachweiſet. Daß aber der Grund dieſer Erſcheinungen nur in der Interferenz des von beiden Flächen des dünnen Plättchens ins Auge kommenden Lichtes zu ſuchen ſey, wird zur Gewißheit erhoben, wenn man auf experimentellem Wege zu zeigen vermag, daß das Licht beider Flächen zur Hervorbringung der Erſcheinung weſentlich nothwendig iſt. Solche Beweiſe hat Airy gegeben. Legt man eine große Convexlinſe mit ſchwach gekrümmten Flächen auf einen Metallſpiegel und läßt darauf Licht fallen, ſo zeigen ſich die Newton'ſchen Farbenringe. Gibt man dem einfallenden Lichtbündel gegen die Glasflächen jene Neigung, die zur Polariſirung desſelben nothwendig iſt, und betrachtet ſodann die Erſcheinung mittelſt eines Turmalinplättchens oder Nicol'ſchen Prisma's in ſolcher Lage, daß das von den Glasflächen reflectirte Licht weggeſchafft wird, ſo bleibt noch ein Theil des von der Metallfläche reflectirten Lichtes zurück, allein die Farbenringe verſchwinden gänzlich. Dasſelbe geſchieht, wenn man gleich urſprünglich zur Beleuchtung des Apparates einen ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Lichtbündel verwendet. Sehr wichtig ſind die Aenderungen, denen der bei der gewöhnlichen Verſuchsweiſe dunkle Fleck in der Mitte der Farbenringe unterliegt, wenn die untere Fläche eine Metallfläche iſt, und das nicht unter dem Polariſationswinkel einfallende Licht vor oder nach der Reflexion ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirt worden iſt. Iſt nämlich der Einfallswinkel kleiner als der Polariſationswinkel, ſo erſcheint dieſer Fleck dunkel; er wird hingegen weiß geſehen, wenn der Einfallswinkel größer iſt als der Polariſationswinkel. (Airy in Pogg. Ann. 26. 123.)

Es iſt nicht ſchwer, außer den bisher behandelten Farben dünner Körper auch noch das Daſeyn ſolcher begreiflich zu finden, die von der Interferenz von Strahlenſyſtemen herrühren, welche mehrere Brechungen und Reflexionen erlitten haben. Solche hat in der That Brewſter an Luftſchichten wahrgenommen, welche zwiſchen parallelen Glasplatten oder zwiſchen einer hohlen und einer erhabenen Linſe enthalten ſind. (Pogg. Ann 26. 150.) Schließt man das eine Ende einer Röhre von etwa 10 Zoll Länge mit einem Deckel, worin ſich eine rechtwinkelige Oeffnung von etwa $^1/_2$ Zoll Breite befindet, und deckt das andere Ende mit einer Glasplatte, gegen welche eine zweite unter einem ſehr kleinen Winkel geneigte geſtellt iſt, und ſieht man durch die Glasplatten gegen die Oeffnung am anderen Ende, ſo zeigen ſich bei hinreichendem Lichte mehrere den Interferenzſtreifen ähnliche Farbenſpectra, die der Kante des Winkels der Glasplatten parallel ſind.

Zwölftes Kapitel.

Theorie der Erſcheinungen des Lichtes.

163. Nachdem im Vorhergehenden die mannigfaltigen Erſcheinungen auseinander geſetzt worden ſind, welche auf den Wirkungen des Lichtes beruhen, wollen wir jetzt die Beſchaffenheit dieſes wichtigen Agens zum Gegenſtande der Forſchung machen. Der Weg, den wir hiebei zu betreten haben, iſt derſelbe, auf dem man überhaupt in der Naturlehre bis zur Einſicht in die Urſachen der Erſcheinungen, d. h. bis zur Erklärung der Phänomene, vordringt. Man ſetzt nämlich für jede Gruppe verwandter Erſcheinungen einen Grund voraus, und unterſucht, ob ſich aus demſelben die Geſetze dieſer Erſcheinungen, ſo wie ſie die Erfahrung darbietet, im Einklange mit allen bereits als richtig anerkannten Principien folgern laſſen. Widerſpricht eine Folgerung der Erfahrung, ſo iſt der angenommene Erklärungsgrund zu verwerfen; genügt er aber den bisher bekannten Erſcheinungen, ſo wird uns ſeine Realität um ſo wahrſcheinlicher, je zahlreicher und mannigfaltiger dieſe Erſcheinungen ſind. Zur beſonderen Empfehlung gereicht es jedoch einer Anſicht, die wir in Betreff der Urſache einer Claſſe von Erſcheinungen gefaßt haben, wenn ſie, durch die Folgerungen, welche ſie darbietet, die Entdeckung neuer Erſcheinungen veranlaßt, zumal ſolcher, deren man ohne dieſen Leitfaden, an der Hand bloßer Empirie, nicht leicht hätte habhaft werden können. Die Lehre vom Lichte bietet, mehr als irgend ein anderer Theil der Naturlehre, Gelegenheit dar, den Entwickelungsgang der Forſchung auf dieſem Wege kennen zu lernen, und die Wirkſamkeit des menſchlichen Scharfſinns zu bewundern. Die Geſchichte der Phyſik zeigt uns hier das Beiſpiel einer Hypotheſe, welche ſeit langer Zeit feſtgehalten und ausgebildet, bei fortſchreitender Erfahrung, als unhaltbar aufgegeben werden, und einer andern Anſicht das Feld räumen mußte, die anfänglich kaum beachtet und höchſtens als ein merkwürdiges Exempel der Verirrungen, denen ſelbſt hohe Talente ausgeſetzt ſind, angeführt, ſich, als man ſie zu bearbeiten gelernt hatte, raſch entfaltete, und nun als ein Muſter einer phyſikaliſchen Theorie daſteht, und in der Wiſſenſchaft einen der oberſten Plätze einnimmt.

§. 164. Unter den verſchiedenen Hypotheſen, welche zur Erklärung der Erſcheinungen des Lichtes aufgeſtellt worden ſind, können nur zwei in Erwägung kommen, weil ſie die Affection der Sehwerkzeuge auf eine mit der Einwirkung auf die übrigen Sinne analoge Art erklären, und wirklich haben dieſe die Oberhand erhalten. Die für uns begreiflichen Einwirkungen auf unſere Sinne geſchehen nämlich durch materielle Berührung der Sinnorgane. Man iſt daher genöthigt, anzunehmen, daß beim Geſichtsſinne daſſelbe Statt finde, und daß ein Ding nur dadurch für uns ſichtbar werde, daß es die Netzhaut unſerer Augen durch Berührung afficirt. Die ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes, die Reflexion, Brechung und die übrigen Phänomene laſſen über die Materialität deſſelben wohl keinen Zweifel

übrig. Da aber unſer Auge in unermeßliche Fernen reicht, ſo muß entweder, wie es bei den Stoffen, die auf unſeren Geruchsſinn einwirken, der Fall iſt, von den ſichtbaren Körpern etwas in unſere Augen geſendet werden, das urſprünglich von den ſelbſtleuchtenden Körpern ausſtrömt, und auf der Netzhaut diejenige Empfindung hervorbringt, die das Sehen vermittelt; oder es muß ſich die Bewegung. in welcher ſich ein leuchtender Körper gleich einem ſchallenden befindet, durch ein materielles Mittel bis zu unſeren Sehwerkzeugen fortpflanzen, und ſo wieder in uns die Empfindung des Sehens hervorrufen. Erſteres wird in der ſogenannten Emanations- oder Emiſſionshypotheſe, letzteres in der Vibrations- oder Undulationshypotheſe angenommen; zu erſterer ſchien ſich Newton hinzuneigen, von deſſen zahlreichen Nachfolgern ſie verfochten, und noch in neueſter Zeit von Biot auf den höchſten Grad der Ausbildung gebracht wurde, deſſen ſie fähig iſt; letztere von Descartes, und namentlich von Huyghens begründet und von Euler in Schutz genommen und weiter ausgeführt, hat in unſerer Zeit durch Young, Fresnel, Fraunhofer, Herſchel, Airy, Hamilton, Neumann, Cauchy u. m. a. eine früher nicht geahnete Entwickelung erhalten, und nur ſie allein kann nach dem gegenwärtigen Stande unſeres Wiſſens als zuläßig betrachtet werden.

165. Die Aufgabe, welche eine Theorie des Lichtes, wofern ſie haltbar ſeyn ſoll, zu löſen hat, wird durch den Inbegriff der zu erklärenden Erſcheinungen ausgeſprochen. In einem gleichartigen Mittel erfolgt die Wirkung des Lichtes nach geraden Linien, welche wir Lichtſtrahlen nennen. Außer der Richtung kommt an jedem Lichtſtrahle noch in Betrachtung ſeine Intenſität, ſeine Farbe (dieß Wort in dem Sinne genommen, daß es den objectiven Grund der Fähigkeit bezeichnet, in unſerem Auge die Empfindung einer gewiſſen Farbe hervorzurufen) und ſein Polariſationszuſtand. Rückſichtlich der Farbe ſind unendlich viele Abſtufungen; hinſichtlich des Polariſationszuſtandes, jener der geradlinigen, circularen und elliptiſchen ſowohl der Art nach zu unterſcheiden, als auch der Gattung nach unter einen gemeinſchaftlichen Geſichtspunkt zuſammenzufaſſen. Für alle dieſe Merkmale eines Lichtſtrahles muß die Theorie aus dem angeblichen materiellen Weſen des Lichtes entnommene Beſtimmungsgründe darbieten. Sie hat nachzuweiſen, wovon die Durchſichtigkeit und Undurchſichtigkeit der Körper abhängt; auf welche Weiſe die Reflexion, die einfache und doppelte Brechung, die Beugung des Lichtes vor ſich geht; vor Allem aber muß ſie über die Qualität der materiellen Grundlage des Lichtes, von der die Interferenzfähigkeit der Strahlen abhängt, Aufſchluß geben, da ſich verſchiedene Phänomene, unabhängig von jeder Vorausſetzung über die Natur des Lichtes, auf die Interferenz zurückführen laſſen, was in Betreff der mittleren Beugungsſpectra und der Newton'ſchen Farbenringe bereits nachgewieſen worden iſt.

166. Nach der Emanationshypotheſe iſt das Licht eine Materie

eigener Art, die von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten ausgeſendet wird. Die Bewegung jedes einzelnen Lichttheilchens geſchieht in dem leeren Raum, wie auch in einem gleichartigen Mittel ſtets nach geraden Linien, und dieſe ſind es, welche wir Lichtſtrahlen nennen. Um das ſtete Vorhandenſeyn der geradlinigen Bewegung des Lichtes mit den übrigen Naturerſcheinungen in Einklang zu bringen, muß man da annehmen, die Theilchen des Lichtſtoffes ſeyen träge aber nicht ſchwer. Da das Auge durch eine ſehr kleine Oeffnung eine ungemein große Menge von Gegenſtänden zugleich überſehen kann, ferner, da es ſcheint, daß die Lichttheilchen in den durchſichtigen Körpern nach allen denkbaren Richtungen ungehindert zu gehen vermögen, ſo müſſen dieſelben von äußerſter Feinheit ſeyn. Allein das Licht bewegt ſich, nach dem Zeugniſſe der Erfahrung, mit einer der größten Geſchwindigkeiten, die wir in der Natur nachzuweiſen vermögen (nahe 42000 Meilen in 1 Secunde), und dennoch konnte man ſelbſt in dem Brennpunkte der größten Brennſpiegel und Brenngläſer, wo eine außerordentliche Menge von Lichttheilchen gleichzeitig eintrifft, nichts wahrnehmen, was auf eine merkliche Größe der Bewegung ſchließen ließe; deßhalb muß auch die Maſſe jedes Lichttheilchens im Vergleiche gegen die jedes ſinnlich wahrnehmbaren materiellen Theilchens von außerordentlicher Kleinheit gedacht werden. Wegen der großen Geſchwindigkeit und der Fortdauer des Lichteindruckes in unſerem Auge brauchen die Lichttheilchen in einem Lichtſtrahle nicht dicht auf einander zu folgen, ſondern ſie können durch ungeheure Zwiſchenräume von einander getrennt ſeyn. Durch welche Kräfte die Lichttheilchen von den leuchtenden Körpern fortgeſchleudert werden, bleibt hier ganz unbeſtimmt. Da die Erfahrung lehrt, daß der Hergang der Lichterſcheinungen ſtets derſelbe iſt, das Licht mag von dieſem oder jenem leuchtenden Körper kommen; ſo wird hiedurch noch die Annahme herbeigeführt, daß alle dieſe Körper gleichartiges Licht mit einerlei Geſchwindigkeit ausſenden. Die Intenſität des Lichtes iſt nach der Emanationstheorie ganz einfach eine Folge der Anhäufung der Lichttheilchen in einem Lichtſtrahle. Um die große Verſchiedenheit des Lichtes in Hinſicht auf Farbe begreiflich zu machen, muß man den einzelnen Lichttheilchen in ſehr vielen Abſtufungen ſehr verſchiedene Maſſen, wohl auch verſchiedene Geſtalten beilegen. Der Polariſationszuſtand eines Lichtſtrahles fordert noch nähere Beſtimmungen der Eigenſchaften der Lichttheilchen. Man iſt genöthigt, in jedem Lichttheilchen eine gewiſſe Axe ſeiner Wirkungen vorauszuſetzen; der Act der Polariſation beſteht ſonach darin, den Axen der Lichttheilchen übereinſtimmende oder wenigſtens regelmäßig abwechſelnde Stellungen zu geben. Erſteres ſoll bei der geradlinigen, letzteres bei der circularen und elliptiſchen Polariſation der Fall ſeyn, eine Vorſtellungsweiſe, der ſelbſt die Benennung »Polariſation« ihren Urſprung verdankt, in ſofern nämlich die Endpunkte der Axen ſich als Pole der Lichttheilchen anſehen laſſen. Ein gemeiner (unpolariſirter) Lichtſtrahl wäre derjenige, in welchem rückſichtlich der Axen der Lichttheilchen gar keine fixe Ordnung obwaltet. Allein auch damit

reicht man zur Erklärung der Farbenerſcheinungen kryſtalliſirter Plättchen nicht aus, ſondern man muß noch gewiſſe Bewegungen der Lichttheilchen um ihre Mittelpunkte der Maſſen zu Hilfe rufen (Biot's bewegliche Polariſation), und ſelbſt mit allen dieſen Fictionen erreicht man das Ziel nicht vollſtändig. Wenn gleich die Emanationshypotheſe, die Reflexion und einfache Brechung des Lichtes dem Anſcheine nach ziemlich genügend aus abſtoßenden und anziehenden Kräften erklärt, welche die Theilchen der Körper auf die Lichttheilchen ausüben, ſo gibt ſie doch über die doppelte Brechung keinen befriedigenden Aufſchluß; die einfachſten Fälle der Beugung des Lichtes vermag ſie nicht zu erklären; die größte Schwierigkeit ſetzt ihr aber die Interferenz des Lichtes entgegen, über deren Thatſachen (157) ſie, ohne die gezwungenſten, jeder Wahrſcheinlichkeit ermangelnden Hilfshypotheſen gar keine Auskunft zu geben im Stande iſt. Aus dieſer Nothwendigkeit, für jede neue Claſſe von Phänomenen dem Lichtſtoffe neue Qualitäten anzudichten, wird es auch begreiflich, warum die Emanationstheorie nie zu einer Entdeckung eines neuen Factums, welches aus ihr vorhergeſagt worden wäre, Veranlaſſung gegeben hat. Dieſe Andeutungen, und noch mehr die nachfolgende Auseinanderſetzung der Undulationstheorie nöthigen, die Emanationshypotheſe zu verlaſſen, wie groß auch die Autoritäten ſeyn mögen, welche ſie ausbildeten oder ſie noch gegenwärtig in Schutz zu nehmen ſuchen.

Die Erklärung der Reflexion des Lichtes wird im Geiſte der Emanationshypotheſe folgendermaßen gegeben: Weil der auffallende Strahl zuerſt ſeine ganze Geſchwindigkeit verliert, und hierauf eine gleiche nach entgegengeſetzter Richtung bekommt; ſo muß vom reflectirenden Körper eine Kraft ausgehen, die auf das Licht abſtoßend wirkt. Die Wirkung dieſer Kraft kann nicht erſt beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil ſonſt die Erhöhungen und Vertiefungen, die ſich auch an den möglichſt polirten Oberflächen befinden, und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß ſind, zur Folge haben müßten, daß eine Reflexion nach allen Seiten erfolgen müßte, und nicht in der Ordnung, wie das Licht auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall iſt. Die Wirkungsſphäre dieſer Kraft muß aber doch ſehr klein ſeyn, weil der Erfahrung gemäß ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspunkte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Denkt man ſich nun die Geſchwindigkeit eines ſchief auf eine reflectirende Fläche einfallenden Strahles in eine auf dieſe Fläche ſenkrechte (normale) und in eine mit dieſer parallele aufgelöſet, ſo wird nur erſtere durch die abſtoßende Kraft des Mittels verringert, letztere aber gar nicht afficirt. Deßhalb beſchreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungsſphäre des Mittels eintritt, eine krumme gegen das Mittel convexe Bahn. Sobald die ganze normale Geſchwindigkeit aufgehoben iſt, bewirkt die abſtoßende Kraft eine der normalen Geſchwindigkeit des Lichtes entgegengeſetzte, und dieſe mit der übrig gebliebenen parallelen Geſchwindigkeit zuſammengeſetzt, gibt eine der vorher genannten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Punkte, wo daſſelbe die Wirkungsſphäre des Mittels verläßt, fährt es nach der Tangente dieſer Curve fort, und bildet ſo den reflectirten Strahl. — Die Brechung des Lichtes ſieht man nach dieſer Hypotheſe als das Ergebniß einer anziehenden

Kraft des brechenden Mittels an. Man meint, es ſey dieſe Kraft in keinem Widerſpruche mit der, woraus nach derſelben Anſicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar iſt, daß dieſelbe Kraft, die in einem Zuſtande anziehend wirkt, in einem anderen eine abſtoßende Wirkung ausübe. Dieſe Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels ſenkrecht ſteht, weil ein ſenkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirkſamkeit kann ſich in einem merklichen Grade nur auf eine ſehr geringe Entfernung erſtrecken, weil ſonſt die Ablenkung des Lichtes ſchon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar ſeyn müßte, was aber nicht der Fall iſt. Um aus der Wirkſamkeit dieſer Kraft die Erſcheinungen der Brechung abzuleiten, denke man ſich wieder die Geſchwindigkeit des vom leeren Raume einfallenden Lichtes in eine normale und in eine parallele zerlegt. Erſtere wird durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichtes in dasſelbe verſtärkt, letztere davon gar nicht afficirt; daher kommt es, daß die Bahn des Lichtes, welche die Reſultirende dieſer beiden Bewegungen im durchſichtigen Mittel iſt, näher an der normalen liegt, als im leeren Raume, und daher eine Brechung zum Einfallslothe erfolgt. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, ſondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, ſo hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Iſt die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner, als die desjenigen, in welches er eintritt, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, deſſen Anziehung dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider gleich iſt; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es ſich aber umgekehrt, ſo iſt es gerade ſo, als wenn das zweite Mittel abſtoßend auf das Licht wirkte, mit einer Kraft, welche dem Unterſchiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich iſt. In dieſem Falle wird die auf die Einfallsebene ſenkrechte Geſchwindigkeit des Strahles beſtändig vermindert, er beſchreibt eine gegen das Einfallsloth convexe krumme Linie, und wird vom Einfallslothe gebrochen. Die Farbenzerſtreuung iſt eine natürliche Folge der Wirkſamkeit ſolcher anziehenden Kräfte, welche auf Lichttheilchen von verſchiedener Maſſe verſchieden wirken, und dadurch eine verſchiedene Ablenkung derſelben hervorbringen. — Die Erſcheinungen der Beugung aber laſſen ſich auf dem hier betretenen Wege nicht erklären, und bieten, wie man auch die Sache wenden mag, nur Beweisgründe gegen die Emanationstheorie dar. Es ſind nämlich die Beugungsphänomene einzig und allein von der mathematiſchen Begrenzung der Oeffnung im Schirme oder des beugenden Drahtes, nicht aber von der materiellen Beſchaffenheit desſelben oder des um die Oeffnung befindlichen Körpers abhängig; aber nach dem Geiſte obiger Erklärungen müßten die Phänomene der Beugung von einer Kraft abgeleitet werden, welche der Schirm oder die Ränder der Oeffnung auf das Licht ausüben. Man geräth in Widerſpruch mit der Erfahrung, man mag dieſe Kraft auf eine merkliche oder unmerkliche Entfernung wirken laſſen. Erſtreckt ſich ihre Wirkung auf eine angebbare Entfernung, ſo ſollte ſie von der Geſtalt des Schirmes und der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche abhängen, welches nicht der Fall iſt; reicht aber ihre Wirkung nur unangebbar weit, ſo können nur die der Oeffnung oder dem beugenden Drahte nächſten Strahlen, nicht aber die davon entferntern gebeugt werden. — Als ein Beleg, wie man in der Emanationshypotheſe zu verfahren genöthigt war, mag die Art dienen, auf welche N e w t o n das Phänomen der Farben dünner Plättchen, um deſſen Beobachtung er ſo große Verdienſte hat, auffaßte. Er ſah darin die

Andeutung einer dem Lichte eigenen Qualität, vermöge welcher ſich die Theilchen desſelben in periodiſch wechſelnden Zuſtänden befinden, mit denen in gleichem Maße die Dispoſition zur Reflexion und zur Transmiſſion wechſelt. Dieſe Variationen des Zuſtandes nannte er **Anwandlungen zur leichteren Reflexion und Transmiſſion** *(accessus facilioris reflexionis et transmissionis)*, und den Weg, den ein Lichttheilchen durchläuft, bis es die am Anfange desſelben gehabte Anwandlung wieder erlangt, welcher Weg wegen der gleichförmigen Bewegung in demſelben Mittel und wegen der gleichen Dauer der Anwandlungen für Lichttheilchen von einer beſtimmten Farbe conſtant iſt, **Intervall der Anwandlungen**. Er nahm an, dieſes Intervall variire bei dem ſenkrechten Uebergange des Lichtes in ein neues Medium, und verhalte ſich zu dem früheren wie der Brechungsexponent zur Einheit; bei ſchiefer Incidenz dependire es überdieß vom Einfallswinkel, und ſey unter gleichen Umſtänden um ſo kleiner, je weiter die Farbe des Lichtes im Spectrum vom Roth entfernt ſteht. Ein Lichttheilchen, welches reflectirt wird, nachdem es in ein Mittel bis zu einer gewiſſen Tiefe = c eingedrungen iſt, wird dem gemäß gleichfalls reflectirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3c, 5c, 7c u. ſ. w. hat, dagegen durchgelaſſen, wenn die Dicke der Schichte 2c, 4c, 6c u. ſ. w. iſt. Da am **Newton**'ſchen Farbenglaſe die Quadrate der Halbmeſſer der abwechſelnd hellen und dunklen Ringe wie die natürlichen Zahlen, und eben ſo die den Ringen entſprechenden Dicken der zwiſchen den Gläſern befindlichen Schichten wachſen, ſo folgt hieraus das Phänomen der Farbenringe von ſelbſt. Aber dieß iſt keine Erklärung der Farbenerſcheinung an dünnen Plättchen; ja nicht einmal das Verdienſt, ein allgemeiner Ausdruck des Phänomens zu ſeyn, kommt dieſer Darſtellung zu, ſeitdem bewieſen wurde, daß das an der oberen Fläche eines Plättchens reflectirte, alſo gar nicht eingedrungene Licht zur Hervorbringung der Erſcheinung eben ſo weſentlich beiträgt, wie letzteres.

167. Die Undulationstheorie poſtulirt die Exiſtenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, welcher durch das Wort **Aether** bezeichnet wird, und die materielle Grundlage der Erſcheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen desſelben wirken auf einander abſtoßend, vielleicht zugleich auch anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt, welche Kräfte ſämmtlich von der Art der Molecularkräfte ſind, unter deren Einfluß die Aethertheilchen, wenn keine Lichterſcheinung vor ſich geht, in dem Zuſtande des ſtabilen Gleichgewichtes ſtehen. Die ſelbſtleuchtenden Körper befinden ſich in ſchwingender Bewegung, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers geſtört, und dieſer in fortſchreitende Schwingungen verſetzt wird, die, wenn ſie bis zu unſerem Auge vordringen, dem nächſt der Netzhaut befindlichen Aether mitgetheilt werden, deſſen Einwirkung auf den Sehnerv die Empfindung des Sehens zur Folge hat. Hiernach beruht die Fortpflanzung des Lichtes auf der fortſchreitenden Wellenbewegung des Aethers; die Geſetze derſelben ſind in jenen enthalten, welche den Principien der Mechanik gemäß aus den erwähnten Vorausſetzungen über die Kräfte, unter deren Herrſchaft die Aethertheilchen ſtehen, ſich ergeben, und die Qualitäten eines Lichtſtrahles müſſen in

räumlichen und quantitativen Beſtimmungen der Elemente dieſer Bewegung ihre Wurzel finden.

Der Einwurf, den man früher der Zuläßigkeit der Undulationshypotheſe entgegenſetzte, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da, ſo wie man einen ſchallenden Körper hinter einer Wand hört, man auch einen leuchtenden Körper ſehen müßte, wenn ſich zwiſchen dem Auge und ihm undurchſichtige Körper befinden, beruht auf einem Mißverſtändniſſe, und wird durch die Art, auf welche die Undulationstheorie den Hergang der Beugung des Lichtes erklärt, vollſtändig gehoben. Ein anderer Einwurf, der den Widerſtand hervorhebt, welchen die Himmelskörper in dem Aether erfahren müßten, wenn dieſer wirklich exiſtirte, während ihre Bewegung ſo regelmäßig vor ſich geht, wie es nur in einem leeren Raume geſchehen kann, dürfte in den Augen desjenigen von keinem bedeutenden Gewichte ſeyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit ſich ein Körper in einem Fluidum zu bewegen vermag, das ungemein fein iſt, und durch die kleinſten Zwiſchenräume ungehindert geht. Aber auch dieſes geringe Gewicht hat er verloren, ſeitdem man an dem von Encke berechneten Kometen wirklich eine Retardation bemerkt hat, die auf ein widerſtehendes Mittel zu ſchließen erlaubt. Daß dieſes die Bewegung der Planeten nicht merklich verzögert, kommt auf Rechnung der viel größeren Dichte derſelben. Allein abgeſehen hievon, ſo ſteht deßhalb die Undulationstheorie der Emanationshypotheſe nicht nach, weil nach letzterer der Weltraum mit allem Lichtſtoffe ausgefüllt ſeyn muß, der von der Sonne und dem unermeßlichen Heere der Fixſterne ausſtrömen ſoll. Nimmt man auch an, in einem Strahle, der von der Sonne ausgeht, ſeyen die Lichttheilchen um mehrere tauſend Meilen von einander entfernt, ſo muß doch der dabei entſtehende Zwiſchenraum wieder vom Lichte anderer Himmelskörper erfüllt ſeyn, deren ſo viele Millionen auf einmal Licht ausſenden. Dazu kommt noch, daß ſich dieſer Lichtſtoff immer mehr anhäufen muß. Will man auch dieſen widrigen Umſtänden dadurch begegnen, daß man annimmt, das Licht werde von Körpern abſorbirt, ſo kann man doch nicht behaupten, ſie ſeyen hierin unerſättlich; ſind ſie es aber nicht, ſo müſſen ſie das aufgenommene Licht wieder frei laſſen, wodurch die Schwierigkeit ihr früheres Gewicht behält. Die chemiſchen Wirkungen des Lichtes, welche viele mit der Vibrationshypotheſe unvereinbar finden wollen, laſſen ſich aus ihr nicht weniger gut, ja beſſer als aus der Emanationshypotheſe erklären. Denn nach letzterer ſucht man ihren Grund in einer Verwandtſchaft des Lichtſtoffes zu den Körpern; aber eine Einwirkung der Oſcillationen des Aethers auf die benachbarten Körpertheile macht dieſe Wirkungen des Lichtes auch begreiflich. Uebrigens hält es ſehr ſchwer, die chemiſchen Wirkungen des Lichtes nach der Emanationshypotheſe zu erklären, ſeit Arago die Entdeckung gemacht hat, daß bei Chlorſilber, auf welches ein Interferenzſpectrum fällt, an den Stellen, wo dunkle Linien liegen, auch keine Schwärzung eintritt. Nach dem Sinne der Undulationstheorie kann dieſe auch nicht eintreten, ſobald keine Bewegung, mithin auch kein Licht vorhanden iſt; es treffen aber dieſer Theorie gemäß in den dunklen Linien wirklich Lichtſtrahlen zuſammen, deren Wellenbewegungen ſich aufheben. Anders verhält ſich die Sache aus dem Standpunkte der Emanationstheorie angeſehen. Da kommen ſelbſt an den dunklen Stellen Lichttheilchen zuſammen, die ihre chemiſche Wirkung um ſo weniger verfehlen ſollten, als ihrer mehrere vorhanden ſind.

168. Die Mechanik gibt für die Fortpflanzung einer Erſchütterung in einem tropfbar- oder ausdehnſam-flüſſigen Mittel Gleichungen, woraus Geſetze folgen, die mit denen, wornach ſich die Fortpflanzung des Lichtes in durchſichtigen Körpern richtet, nicht vereinbar ſind. Dieß erſchien, ſo lange man der Meinung war, die undulirende Bewegung des Aethers könne nur nach dieſen Gleichungen betrachtet werden, ein für die Zuläßigkeit der Vibrationshypotheſe ſehr nachtheiliger Umſtand. Allein man erkannte in neueſter Zeit, daß erwähnte Gleichungen auf Vorausſetzungen beruhen, die wegfallen, wenn man den Aether lediglich als ein Syſtem materieller Theilchen anſieht, welche auf einander durch abſtoßende und anziehende Kräfte einwirken, und daß in dieſer Allgemeinheit die Fortpflanzung einer Erſchütterung, mit der nur geringe Aenderungen in den relativen Poſitionen der Theilchen eines Mittels verbunden ſind, ſich nach denſelben Geſetzen richte, das Mittel mag die feſte oder die flüſſige Aggregationsform beſitzen; endlich daß dieſe Geſetze diejenigen, an welche die Fortpflanzung des Lichtes gebunden iſt, als einen ſpeciellen, durch die beſondere Beſchaffenheit des Aethers bedingten Fall in ſich enthalten. Letzteres wurde vornehmlich von Cauchy, deſſen wichtige Arbeiten über dieſen Gegenſtand noch nicht geſchloſſen ſind, nachgewieſen, nachdem ſchon Fresnel auf dieſem Gebiete die Bahn gebrochen hatte. Die analytiſche Unterſuchung lehrt, daß in einem Inbegriffe von materiellen Theilchen, die durch Molecularkräfte zuſammengehalten werden, entweder gar keine oder nur gewiſſe Bewegungsweiſen ſich fortpflanzen, und daß im Allgemeinen jede einzelne dieſer Bewegungsformen, ſo lange die Beſchaffenheit des Mittels keine Aenderung erfährt, mit einer eigenen Geſchwindigkeit gleichförmig fortſchreitet, die entweder nach allen Richtungen einerlei Größe hat, oder von ihrer jedesmaligen Richtung abhängt. Erſteres tritt ein, wenn die Anordnung der materiellen Theilchen in Hinſicht auf ihre Maſſen, ihre Diſtanzen und die Kräfte, denen ſie unterliegen, nach allen Richtungen dieſelbe iſt, ein Fall, der ſich bei dem freien, d. i. nicht innerhalb der Theilchen eines Körpers befindlichen Aether vorfindet, wie auch bei jenem, der im Innern unkryſtalliniſcher Subſtanzen oder in Kryſtallen eingeſchloſſen iſt, die nach dem teſſularen (regulären) Syſteme gebildet ſind. Letzteres zeigt ſich, wenn in der Anordnung der materiellen Theilchen nach verſchiedenen Richtungen Verſchiedenheiten obwalten, was bei dem Aether der Fall iſt, den Kryſtalle enthalten, die auf eine von dem Würfel verſchiedene Grundgeſtalt ſich beziehen. Im erſten Falle ſagt man, der Aether habe nach allen Richtungen einerlei Elaſticität; im letzteren aber, die Elaſticität des Aethers ſey nach verſchiedenen Richtungen verſchieden. Denkt man ſich die urſprüngliche Erſchütterung des Aethers auf einen ſo kleinen Raum eingeſchränkt, daß man ihn als einen Punkt betrachten darf, oder was dasſelbe heißt, betrachtet man die Erſchütterung des Aethers in Diſtanzen, hinſichtlich welcher die Dimenſionen des Raumes, worin die Bewegung ihren Urſprung nahm, als unbeträchtlich erſcheinen, und zieht man von dem Erre-

gungspunkte (dem Mittelpunkte der Bewegung) nach allen Richtungen gerade Linien, ſo liegen die Punkte derſelben, in welchen die Erſchütterung in irgend einem und demſelben Augenblicke anlangt, in einer krummen Fläche, welche die Wellenfläche genannt wird. Dieſe breitet ſich fortwährend aus, ſich ſelber ſtets ähnlich bleibend. Kann man aber die Größe des Raumes, worin die Bewegung erzeugt wird, nicht vernachläßigen, ſo betrachte man jeden Punkt desſelben als einen Mittelpunkt der Erſchütterung, der ſeine eigene Wellenfläche erzeugt. Der Inbegriff aller dieſer einem gegebenen Augenblick entſprechenden Wellenflächen beſtimmt den Raum, wohin die Bewegung in dieſem Augenblicke vorgedrungen iſt.

169. Iſt der Aether nach allen Richtungen gleich elaſtiſch, ſo können ſich, wie die analytiſche Mechanik beweiſet (falls überhaupt eine Fortpflanzung der ſchwingenden Bewegung darin möglich iſt), nach jeder gegebenen Richtung nur zweierlei Schwingungsarten fortpflanzen. Entweder ſchwingen die Aethertheilchen längs dieſer Richtung, d. h. ſie gehen in geraden Bahnen, die in dieſe Richtungen fallen, hin und her, und die Schwingung heißt longitudinal, oder ſie beſchreiben beliebige Bahnen, die in einer auf der Fortpflanzungsrichtung ſenkrechten Ebene liegen, und die Schwingung heißt transverſal. Jeder dieſer Schwingungsweiſen gehört, da ſie mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortgepflanzt werden, eine eigene kugelförmige Wellenfläche. Eine willkürliche Bewegung eines Aethertheilchens kann man hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung in eine longitudinale und in eine transverſale zerlegen. Weil beiden Bewegungsarten verſchiedene Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten zukommen, ſo werden ſie ſich im erſten Augenblicke trennen und abgeſondert fortſchreiten. Daher bringt im Allgemeinen eine willkürliche Erſchütterung des Aethers, bei deſſen hier vorausgeſetzter Beſchaffenheit, zwei getrennte ſphäriſche Wellen hervor, in deren einer longitudinale, in der anderen transverſale Vibrationen Statt finden. Die longitudinalen Schwingungen geſchehen, den Ergebniſſen der Rechnung gemäß, mit Verdichtungen und Verdünnungen des Aethers; die transverſalen ſind mit keiner merklichen Aenderung der Dichte verbunden. Die longitudinalen Vibrationen ſind entweder, in Folge der beſonderen nur transverſal vor ſich gehenden Schwingungsweiſe der leuchtenden Körper, gar nicht vorhanden; oder ſie ſind, wegen des großen Widerſtandes, den der Aether jeder Aenderung ſeiner Dichte entgegenſetzt, ganz unmerklich; oder ſie ſind vorhanden, aber begründen keine Lichterſcheinung, denn die Phänomene des Lichtes laſſen ſich, wie aus den nachfolgenden, auf den Zuſtand der Polariſation ſich beziehenden Betrachtungen erhellen wird, nur mit transverſalen Aetherſchwingungen, aber mit dieſen vollkommen in Einklang bringen.

170. Wendet man die allgemeinen Gleichungen der vibrirenden Bewegung auf den Fall an, wenn der Aether nach verſchiedenen Richtungen verſchiedene Elaſticität beſitzt, jedoch deſſen Vertheilung überall in je zwei einander gerade entgegengeſetzten Richtungen übereinſtimmt,

eine Annahme, die ſich mit der Bildungsform der zu den verſchiedenen einaxigen Syſtemen (121. 123) gehörenden Kryſtalle verträgt, ſo ergibt ſich die Folgerung, daß hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung nur dreierlei Schwingungen Statt haben können, bei deren jeder die Aethertheilchen geradlinige Bahnen beſchreiben. In der hier gemachten Vorausſetzung über die Beſchaffenheit des Aethers iſt der beſondere Fall eingeſchloſſen, wenn die Vertheilungsweiſe des Aethers um jeden Punkt nach allen auf eine gewiſſe gerade Linie ſenkrechten Richtungen dieſelbe iſt. Kryſtalle, bei denen dieß Statt findet, charakteriſiren ſich als optiſch einaxige, und erwähnte Gerade iſt die optiſche Axe. Da finden unter den drei im Allgemeinen möglichen geradlinigen Schwingungsweiſen, hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung zwei transverſale, auf dieſer Fortpflanzungsrichtung ſenkrechte Statt, welche allein in der Optik Anwendung haben. Die dritte Schwingungsweiſe exiſtirt entweder nicht, oder ſie iſt wenigſtens mit keiner Wirkung des Lichtes verbunden. Eine der transverſalen Schwingungsrichtungen liegt in der Ebene, welche durch die Fortpflanzungsrichtung und durch die dem Erregungsmittelpunkte entſprechende optiſche Axe geht; die andere aber iſt auf dieſe Ebene ſenkrecht. Die Wellenfläche für erſtere iſt ein Rotations-Ellipſoid, deſſen Axe mit der optiſchen Axe zuſammenfällt; die Wellenfläche für die andere Schwingungsrichtung aber iſt eine mit dem Ellipſoide concentriſche und dasſelbe in den Endpunkten der Axe berührende Kugelfläche. Jede Schwingungsrichtung iſt daher eine Berührungslinie der ihr zugehörenden Wellenfläche. Iſt aber dieſe beſondere Vertheilungsweiſe des Aethers nicht vorhanden, ſo iſt der Kryſtall, der den Aether enthält, ein optiſch zweiaxiger. Von den drei im Allgemeinen möglichen geradlinigen Schwingungsarten erſcheinen wieder nur zwei als Licht erzeugend; ſie geſchehen transverſal, aber nur nahe, nicht genau, auf die Fortpflanzungsrichtung ſenkrecht; die Wellenflächen beider ſind die zwei Abtheilungen der Fresnel'ſchen Fläche (111). Auch hier ſind die Schwingungsrichtungen Tangenten der Wellenfläche. Es laſſen ſich aber noch andere Anordnungen des Aethers, ſelbſt für optiſch einaxige Kryſtalle denken, in welchen lediglich ſolche transverſale Schwingungen fortgepflanzt werden können, bei denen die Aethertheilchen elliptiſche Bahnen (die kreisförmige als beſonderen Fall mit begriffen) beſchreiben, worin die Bewegungen in entgegengeſetztem Sinne vor ſich gehen, nämlich in der einen, vom Mittelpunkte der Welle angeſehen, von der Linken gegen die Rechte, und in der zweiten umgekehrt, und zwar entſprechen beiden verſchiedene Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten, mithin auch verſchiedene Wellen.

171. Ein ſehr fruchtbares Hilfsmittel bei der Unterſuchung der Fortpflanzung einer Bewegung in einem Syſteme materieller Theilchen, von der Art, wie man ſich den Aether vorzuſtellen hat, iſt die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Vibrationen. Aus der Form der Grundgleichungen ergibt ſich nämlich eine Eigenſchaft des Aethers, welche ihrer Einfachheit wegen, auch unabhängig von dieſen Gleichun-

gen ſich von ſelbſt aufdringt, daß, wenn zwei oder mehrere Bewegungsarten bis zu einem beſtimmten Aethertheilchen fortgepflanzt werden, dieſes gerade diejenige Bewegung annimmt, welche aus der Zuſammenſetzung der einzelnen Bewegungen hervorgeht; ſo wie umgekehrt, jede Schwingungsweiſe eines Aethertheilchens als das Reſultat des Zuſammenbeſtehens jener betrachtet werden darf, in welche die Bewegung des Aethertheilchens zerlegbar iſt, und die einzeln genommen in dem Aether hätten fortgepflanzt werden können. Die nächſte Folgerung hieraus iſt, daß, wie mannigfaltig und unregelmäßig auch immer die Urſache wirken mag, durch welche der Aether in Bewegung verſetzt wird, die Bewegung desſelben ſich ſtets als das Reſultat der Zuſammenſetzung unendlich vieler, höchſt einfacher und regelmäßiger Schwingungsarten darſtellt, deren jede einzelne für ſich hätte erregt und fortgepflanzt werden können, und die ſich bloß durch die Zeit, binnen welcher jede einzelne Schwingung vollbracht wird (in Folge deſſen auch durch die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit), unterſcheiden. Hiedurch reducirt ſich das ganze Geſchäft auf die Betrachtung der Fortpflanzung dieſer einfachen Vibrationen, bei welchen, wie aus dem oben Geſagten erhellet, die Aethertheilchen entweder geradlinige oder kreisförmige oder elliptiſche Bahnen beſchreiben. Die elliptiſche Form der Bahn ſtellt ſich als die allgemeinſte dar, weil ſie einerſeits die Kreisform, als Ellipſe ohne Excentricität oder mit gleichen Axen, andererſeits die geradlinige, als Ellipſe deren kleinere Axe = o geworden iſt, in ſich begreift. Es darf aber auch die Bewegung in einer Ellipſe als das Reſultat gleichzeitig vorhandener, nach verſchiedenen Richtungen vor ſich gehender geradlinigen Bewegungen betrachtet werden, wenn gleich letztere nicht in allen Fällen einzeln fortgepflanzt werden können. Wir wollen nun die Beſchaffenheit der einfachen Schwingungen der Aethertheilchen näher ins Auge faſſen.

172. Es ſey A, Fig. 269, die Ruhelage eines Aethertheilchens, B A B′ die Gerade, längs welcher es hin- und herſchwingt, und M ein Punkt dieſer Bahn, worin es ſich während ſeines Fortſchreitens von A gegen B hin in einem beſtimmten Augenblicke befindet. Hier erfährt es durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen eine Verzögerung, die mit um ſo größerer Kraft geſchieht, je weiter das ſich bewegende Theilchen von A abſteht, und endlich, wenn dasſelbe bis B gekommen iſt, ſeine Geſchwindigkeit ganz aufgehoben hat. Dieſelbe Kraft treibt es nun gegen A zurück, und beſchleuniget ſeine Bewegung bis es in A eintrifft, wo die größte Geſchwindigkeit Statt findet, die beſchleunigende Kraft aber Null iſt. Zufolge ſeiner Trägheit ſetzt das Theilchen ſeine Bewegung gegen B′ hin fort, die aber jetzt aus demſelben Grunde wie vorhin eine verzögerte iſt, bis endlich in B′ die Geſchwindigkeit abermal verſchwindet, und ſodann von B′ gegen A hin wieder eine nach demſelben Geſetze, wie bei dem Gange von B gegen A, beſchleunigte Bewegung eintritt. Nimmt man A M′ = A M, ſo hat das Theilchen in M und M′ ſtets dieſelbe Geſchwindigkeit, nur iſt die Richtung derſelben bei zwei unmittelbar auf einander folgenden Durch-

gängen durch M oder M' eine entgegengeſetzte. Der Punkt der Bahn, worin ein Aethertheilchen ſich in einem Augenblicke befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es ſeine Bewegung fortſetzt, beſtimmt den dieſem Zeitpunkte entſprechenden Bewegungszuſtand oder die Phaſe des Aethertheilchens; die von einem fixen Augenblicke an gezählte Zeit, nach welcher eine gegebene Phaſe Statt hat, heißt die Phaſenzeit; die Zeit, welche zwiſchen dem Eintreten zweier unmittelbar auf einander folgenden gleichen Phaſen verfließt, iſt die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit); der größte Abſtand des Aethertheilchens von ſeiner Gleichgewichtslage, nämlich AB = AB' heißt die Schwingungsweite (Amplitude), und die größte Geſchwindigkeit, die das Theilchen während ſeiner Schwingung erreicht, nämlich diejenige mit der es in A ankommt, heißt die Intenſität der Schwingung. Phaſen, in welchen ein Aethertheilchen ſich rückſichtlich ſeiner Gleichgewichtslage in entgegengeſetzten Stellungen, wie z. B. M und M' ſind, befindet, und zugleich entgegengeſetzte Bewegungsrichtungen hat, mithin gleiche und entgegengeſetzte Geſchwindigkeiten beſitzt, heißen entgegengeſetzte Phaſen, und ſind um die Hälfte einer Schwingungsdauer (im Allgemeinen um ein ungerades Vielfache einer halben Schwingungsdauer) von einander entfernt. Aehnliche Benennungen ſind auch auf den Fall anwendbar, wenn das Aethertheilchen in einer elliptiſchen Bahn ſich bewegt. Es ſey (Fig. 270) BMB'M' eine ſolche, BB' ihre größere, CC' ihre kleinere Axe, A ihr Mittelpunkt, ſo iſt AB = AB' die Schwingungsamplitude, die Geſchwindigkeit in C oder C' iſt die Schwingungsintenſität, und das Aethertheilchen erſcheint, wenn es ſich in den Endpunkten M, M' eines Durchmeſſers der Bahn befindet, in entgegengeſetzten Phaſen. Geht die Bewegung in dem Sinne CMBM' vor ſich, ſo iſt ſie in den Quadranten CB, C'B' eine verzögerte, in den Quadranten BC', B'C aber eine beſchleunigte. Bewegt ſich ein Aethertheilchen in einem Kreiſe, ſo iſt ſeine Bewegung gleichförmig, der Halbmeſſer der Bahn beſtimmt die Schwingungsamplitude, und die Geſchwindigkeit gibt die Intenſität der Bewegung an.

173. Die Bewegung jedes Aethertheilchens bei den ſo eben betrachteten einfachen Schwingungsweiſen iſt eine Centralbewegung, wobei die gegen den Mittelpunkt A der Ellipſe, des Kreiſes oder der geraden Linie gerichtete, aus der Geſammtwirkung der benachbarten Theilchen entſpringende Centripetalkraft dem Abſtande des Aethertheilchens von dieſem Mittelpunkte direct proportionirt iſt. Hier kann aus dieſem Geſetze der Kraft nur das Geſetz der geradlinigen Schwingung abgeleitet werden. Dieſe ſtimmt mit der oſcillirenden Bewegung eines einfachen ſchweren Pendels, deſſen anfängliche Elongation ſehr klein iſt, überein, denn auch in dieſem Falle ſteht die Kraft, die den ſchweren Punkt in ſeiner Bahn beſchleunigt oder zurückhält, mit dem Abſtande desſelben von der Ruhelage in geradem Verhältniſſe. Es ſey, unter der Vorausſetzung, daß ſich das geradlinig ſchwingende Aethertheilchen im Punkte M, Fig. 269, ſeiner Bahn BB' befinde, und der Ab-

ſtand desſelben von ſeinem Orte A im Zuſtande des Gleichgewichtes nämlich AM durch x, ferner ſeine Maſſe durch m vorgeſtellt werde, die Kraft, welche es afficirt $=hmx$, wobei h einen unveränderlichen Werth hat. Betrachten wir jetzt ein Pendel AB, Fig. 98, welches während ſeiner ſchwingenden Bewegung aus der Lage AC in die Lage AM gekommen iſt, und ſetzen wir deſſen Länge $AB=l$, die Acceleration der Schwere $=g$ und die Maſſe des ſchweren Punktes $=m$, ſo iſt $gm.\sin MAB$ (I. Th. 241) der Ausdruck der denſelben gegen B hintreibenden Kraft. Aber das rechtwinkelige Dreieck AMP gibt $\sin MAP=\frac{MP}{AM}$, oder, weil man wegen der Kleinheit des Winkels MAP ſtatt MP auch den Bogen MB, den wir x nennen wollen, ohne merklichen Fehler ſetzen darf, $\sin MAP=\frac{MB}{AM}=\frac{x}{l}$, daher iſt genannte Kraft $=\frac{g}{l}mx$. Denkt man ſich demnach die Länge l des Pendels ſo gewählt, daß $\frac{g}{l}=h$ iſt, ſo ſtimmt die Bewegung desſelben mit jener des Aetherteilchens überein. Wie die am angeführten Orte vorgetragene Deduction lehrt, iſt die Zeit t, binnen welcher der ſchwere Punkt von M nach B kommt, $=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}.\frac{KB}{EB}=\frac{1}{\sqrt{h}}.\frac{KB}{DB}$, folglich $\frac{KB}{DB}=t\sqrt{h}$. Dieſes Reſultat läßt ſich benützen, um ſowohl den Weg $MB=x$ als auch die in M Statt findende Geſchwindigkeit des Pendelpunktes, die v heißen mag, durch die Zeit t auszudrücken. Es iſt nämlich (ſ. S. 167) $MP^2=2l.BP$, mithin, weil man MP mit MB oder x verwechſeln darf, $x^2=2l.BP$. Eben ſo hat man, wenn man den Bogen CB durch a bezeichnet, wegen der Kleinheit der anfänglichen Elongation, $a^2=2l.DB$. Hieraus folgt $2l=\frac{a^2}{DB}$, daher $x^2=\frac{a^2BP}{DB}$. Denkt man ſich im Halbkreiſe DKB die Sehne KB gezogen, deren Benennung wir, um ſie vom Bogen KB zu unterſcheiden, durch einen darüber geſetzten Strich kenntlich machen, ſo iſt $BP=\frac{\overline{KB}^2}{DB}$. Hiedurch wird $x^2=\frac{a^2.\overline{KB}^2}{DB^2}$ mithin $x=\frac{a.\overline{KB}}{DB}$. Aber der Quotient $\frac{\overline{KB}}{DB}$ iſt, wenn man ſich die Sehne KD gezogen denkt, der Sinus des Winkels KDB (den Halbmeſſer $=1$ geſetzt) und der Quotient $\frac{KB}{DB}$ iſt der Ausdruck des zwiſchen den Schenkeln dieſes Winkels mit dem Halbmeſſer $=1$ beſchriebenen Bogens, daher haben wir $\frac{\overline{KB}}{DB}=\sin\frac{KB}{DB}$. Es beſteht daher die Gleichung

$$x = a \sin(t\sqrt{h}).$$

Auf demſelben Wege erhält man, weil $v = \sqrt{2g \cdot DP}$ iſt (ſ. S. 167), und, wenn man die in B Statt findende größte Geſchwindigkeit des Pendelpunktes c nennt, eben ſo die Gleichung $c = \sqrt{2g \cdot DB}$ beſteht, $v = c\sqrt{\frac{DP}{DB}} = c\frac{DK}{DB} = c \cos \frac{KB}{DB}$, d. h. $v = c \cos (t\sqrt{h})$. Hätte man v mit a ſtatt c verglichen, ſo hätte man an die Stelle des Factors c in dieſer Formel die Größe $a\sqrt{\frac{g}{l}} = a\sqrt{h}$ erhalten. Es iſt demnach $c = a\sqrt{h}$. Bezeichnet man die Dauer einer Doppelſchwingung des Pendels durch T, ſo iſt $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{h}}$, mithin $\sqrt{h} = \frac{2\pi}{T}$. Hiedurch verwandeln ſich die ſo eben gefundenen Formeln in

$$x = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) \text{ und } v = c \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right), \text{ und es iſt } c = \frac{2\pi a}{T}.$$

Dieſe Formeln gelten, dem oben Geſagten gemäß, auch für die Bewegung eines geradlinig oſcillirenden Aethertheilchens, wobei x den Abſtand desſelben von ſeiner Gleichgewichtslage am Ende der Zeit t, v ſeine Geſchwindigkeit, a die Amplitude, c die Intenſität und T die Dauer der Schwingung vorſtellt. Die durch dieſelben dargebotenen Reſultate laſſen ſich folgendermaßen ausſprechen: Nimmt man auf der Peripherie eines Kreiſes, deſſen Halbmeſſer = 1 iſt, einen Bogen, der ſich zur ganzen Peripherie verhält, wie die Phaſenzeit zur Schwingungsdauer, ſo verhält ſich der Abſtand des Aethertheilchens zur Amplitude, wie der Sinus dieſes Bogens zur Einheit, und die Geſchwindigkeit des Aethertheilchens zur Schwingungsintenſität, wie der Coſinus desſelben Bogens zur Einheit.

174. Aus dieſen Formeln ergeben ſich ſehr wichtige Reſultate in Hinſicht auf die Zuſammenſetzung der ſchwingenden Bewegungen. Wir beſchränken uns hier auf folgende zwei: 1) Iſt ein Aethertheilchen gleichzeitig zwei geradlinigen oſcillirenden Bewegungen von einerlei Schwingungsdauer unterworfen, deren Richtungen einen Winkel bilden, und deren Phaſen übereinſtimmen, ſo entſpringt daraus wieder eine geradlinige Schwingung von derſelben Dauer, deren Amplitude und Schwingungsintenſität durch die Diagonale der Amplituden und Schwingungsintenſitäten der Componenten ausgedrückt wird. Es ſey nämlich AB, Fig. 271, die Amplitude und Richtung der einen, AB′ jene der andern Componente, ſo erreicht das oſcillirende Theilchen, weil es den Componenten zu Folge in demſelben Augenblicke in B und B′ geweſen wäre, durch das Zuſammenwirken beider in dieſem Augenblicke den Endpunkt C der Diagonale des Parallelogramms, deſſen Seiten AB und AB′ ſind. Es beſchreibt aber auch dieſe Diagonale. Denn befindet es ſich am Ende der Zeit t den Componenten gemäß in M und M′, ſo iſt $AM = AB \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, $AM' = AB' \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, mithin $AM : AM' = AB : AB'$. Es liegt daher der Endpunkt N der Diagonale AN des Parallelogramms, deſſen Seiten AM und AM′ ſind,

mit A und C in einerlei Richtung. 2) Iſt ein Aethertheilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von einerlei Dauer unterworfen, deren Amplituden, mithin auch die Schwingungsintenſitäten gleich ſind, deren Phaſenzeiten aber um ein Viertel der Schwingungsdauer unterſchieden ſind, und deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, ſo iſt die reſultirende Schwingung eine kreisförmige, deren Halbmeſſer die gemeinſchaftliche Amplitude iſt, und welche mit einer der gemeinſchaftlichen Schwingungsintenſität gleichen Geſchwindigkeit vor ſich geht. Es ſeyen AM und AM′, Fig. 272, die Abſtände des Aethertheilchens von der Ruhelage A in Folge der beiden Bewegungen, t, t′ die Phaſenzeiten, ſo iſt $AM = a \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$, $AM' = a \sin\left(2\pi \frac{t'}{T}\right)$. Aber es ſoll $t' - t = \frac{1}{4}T$, d. h. $t' = \frac{1}{4}T + t$ ſeyn, dieß gibt

$$AM' = a \sin\left(\frac{\pi}{2} + 2\pi \frac{t}{T}\right) = a \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right),$$

mithin $AN^2 = AM^2 + MN^2 = AM^2 + AM'^2 = a^2$, daher $AN = a$. Es iſt alſo der Abſtand des Aethertheilchens vom Punkte A während der ganzen Bewegung unveränderlich und $= a$, wodurch erwieſen iſt, daß es einen Kreis vom Halbmeſſer a beſchreibt. Eben ſo läßt ſich zeigen, daß die Geſchwindigkeit der Bewegung $= c$ iſt. Beträgt der Phaſenunterſchied der Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer, oder ſind die Amplituden derſelben ungleich, ſo entſteht eine elliptiſche Schwingung.

175. Die Anwendung der hier vorgetragenen theoretiſchen Beſtimmungen auf die Phänomene des Lichtes iſt eben ſo einfach als genügend. Die Fortpflanzungsrichtung der ſchwingenden Bewegung des Aethers iſt das, was man einen Lichtſtrahl nennt. Die Intenſität des Lichtes muß man, um die Phänomene, ſo wie ſie die Erfahrung gibt, darzuſtellen, dem Quadrate der Amplitude oder was damit übereinſtimmt, dem Quadrate der Schwingungsintenſität proportionirt ſetzen. Homogenes Licht iſt jenes, das durch einfache Schwingungen hervorgebracht wird. Die Farbe hängt von der Schwingungsdauer ab. Die Aetherſchwingungen, in welchen das Licht beſteht, geſchehen transverſal, d. h. ſenkrecht oder nahe ſenkrecht gegen die Richtungen der Strahlen. Polariſirtes Licht iſt jenes, welches auf geradlinigen, kreisförmigen oder elliptiſchen Schwingungen beruht, und die Art der Polariſation wird durch die Benennung der Schwingungsweiſe angezeigt. Hinſichtlich der Lage der Richtung der Vibration gegen die Polariſationsebene des geradlinigen polariſirten Lichtes ſind die Theoretiker nicht gleicher Meinung. In der That laſſen ſich die bis jetzt betrachteten Erſcheinungen eben ſo gut erklären, wenn man mit Fresnel annimmt, die Polariſationsebene ſtehe ſenkrecht gegen die Richtung der Vibrationen, als wenn man, wie Cauchy und Neumann zuerſt gethan haben, annimmt, die Vibrationen erfolgen in der Polariſationsebene. Die Interferenz des Lichtes iſt die Zuſammenſetzung der ſchwingenden Bewegungen, welche gleichzeitig auf dasſelbe Aethertheilchen übertragen werden. Gemeines (unpolariſirtes)

Licht iſt jenes, bei deſſen Fortpflanzung die Aethertheilchen ganz unregelmäßige, nicht mit einander übereinſtimmende Bahnen beſchreiben; es kann als eine raſche Aufeinanderfolge von Zuſammenſetzungen geradliniger Schwingungen, die in allen möglichen Richtungen Statt finden, betrachtet werden. Aus den in 169, 170 angeführten Ergebniſſen der Gleichungen der ſchwingenden Bewegung erhellet, daß unpolariſirtes Licht nur im freien Aether oder in unkryſtalliniſchen oder in teſſular-kryſtalliſirten Medien fortgepflanzt werden kann, während kryſtalliſirte, jedoch nicht teſſulare Medien nur polariſirtes Licht fortzupflanzen vermögen, mithin unpolariſirtes in ſie eindringendes Licht in polariſirte Strahlen zerlegen. Auch ſieht man, daß rechtwinkelig gegen einander polariſirte Strahlen (ſolche, deren Schwingungsrichtungen einen rechten Winkel bilden) ſich nicht zu ſchwächen vermögen. Aus ihrer Interferenz entſpringt nämlich im Allgemeinen elliptiſch-, unter beſonderen Umſtänden auch geradlinig- oder circular-polariſirtes Licht, womit auch die Erfahrung übereinſtimmt.

176. Die Interferenz des Lichtes, deren Erklärung der Emanationstheorie ein unüberſteigliches Hinderniß entgegenſetzt, iſt eine ſo einfache und nothwendige Folge der Undulationstheorie, daß ſie auch in der That von Young mittelſt dieſer Theorie erkannt und gleichſam vorhergeſagt wurde. Die Bedingung, unter welcher zwei in einem Punkte zuſammentreffende Strahlen einander völlig aufheben, iſt daß das nächſt dieſem Punkte befindliche Aethertheilchen, in Folge des längs dieſer Strahlen Statt findenden Fortſchreitens der ſchwingenden Bewegung genöthiget werde, mit gleicher Intenſität verknüpfte Schwingungen nach gerade entgegengeſetzten Richtungen gleichzeitig auszuführen. Da die Richtungen der Aethervibrationen in der Luft auf den Richtungen der Strahlen ſenkrecht ſtehen, ſo iſt klar, daß zur völligen Aufhebung des Lichtes die Coincidenz der Strahlen erfordert wird; doch kann die Intenſität des Lichtes auf einen für unſer Auge unmerklichen Grad herabgeſetzt werden, wenn nur die Richtungen der Strahlen einen ſehr ſpitzen Winkel bilden, wobei, unter den gehörigen Umſtänden, die Schwingungsrichtungen einander nahe entgegengeſetzt ausfallen.

177. Es liegt in der Natur der Fortpflanzung der ſchwingenden Bewegung, daß der Bewegungszuſtand, der einem auf dem Wege eines Lichtſtrahles vorfindigen Aethertheilchen in einem beſtimmten Augenblicke zukommt, in folgenden Augenblicken den nach der Richtung des Lichtſtrahles hin liegenden nächſten Theilchen eigen iſt. Je nachdem die Intenſität des Lichtes dabei abnimmt, oder die Abnahme derſelben unmerklich iſt, nehmen die Dimenſionen der Bahnen der Aethertheilchen ab, oder ſie bleiben ungeändert. Letzteres kann offenbar nur in ſo fern Statt finden, als das Licht in Diſtanzen betrachtet wird, die in Vergleichung mit dem von der Quelle an zurückgelegten Wege als ſehr klein gelten dürfen. Jederzeit aber ſind die Bahnen der Aethertheilchen längs desſelben Lichtſtrahles einander ähnlich, und die Schwingungsdauer bleibt dieſelbe. Man ſagt zwei Aethertheilchen befinden

ſich in gleichen Phaſen, wenn ihre Poſitionen in ihren Bahnen homolog ſind. Offenbar erſcheinen benachbarte, in der Richtung eines Lichtſtrahles vorhandene Aethertheilchen in demſelben Augenblicke in verſchiedenen Phaſen, und zwar das von dem Urſprunge des Lichtes entferntere mit dem anderen verglichen in einer um ſo ſpäteren Phaſe, je größer die Diſtanz dieſer Theilchen iſt. Beträgt der Phaſenunterſchied eine ganze Umlaufszeit oder ein Vielfaches derſelben, ſo ſtimmen die Phaſen der Theilchen überein. Die kleinſte Diſtanz zweier Aethertheilchen, die ſich in demſelben Augenblicke in einerlei Phaſe befinden, heißt Wellenlänge. Sie iſt nothwendig dem Wege gleich, den das Licht während einer Schwingung eines Aethertheilchens zurücklegt. Iſt daher L die Wellenlänge, V die Geſchwindigkeit des Lichtes in der Richtung eines gegebenen Strahles, und T die Schwingungsdauer, ſo beſteht die Gleichung $L = VT$. Innerhalb einer Wellenlänge ſtehen die Aethertheilchen in einem gegebenen Augenblicke nach der Ordnung in Phaſen, die während einer Vibration auf einander folgen. Zwei Aethertheilchen, deren Abſtand die Hälfte der Wellenlänge beträgt, erſcheinen in demſelben Augenblicke in entgegengeſetzten Phaſen. Ueberhaupt ſind die Phaſen zweier Aethertheilchen gleich, wenn die Entfernung derſelben ein Vielfaches der Wellenlänge, und ihre Phaſen ſind entgegengeſetzt, wenn ihre Entfernung ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht.

178. Mit Hilfe dieſer Sätze läßt ſich leicht einſehen, daß zwei unpolariſirte oder auf einerlei Weiſe polariſirte Strahlen, deren Richtungen zuſammenfallen oder wenigſtens einen ſehr kleinen Winkel einſchließen, und deren Längen, von dem Urſprunge des Lichtes an gerechnet, ſich genau um eine oder mehrere Wellenlängen unterſcheiden, bei ihrem Zuſammentreffen ſich verſtärken, und zwar eine Intenſität der Schwingung hervorbringen, die der Summe ihrer eigenen Intenſitäten gleichkommt. Unterſcheiden ſich aber die Wege der Lichtſtrahlen um die Hälfte oder um ein ungerades Vielfaches der Hälfte der Wellenlänge, ſo ſchwächen ſich dieſelben, und die Intenſität der Schwingung iſt dem Unterſchiede der Intenſitäten der Strahlen gleich. Haben beide Strahlen einerlei Intenſität, ſo heben ſie ſich hiebei wechſelſeitig auf, und es findet keine Wirkung des Lichtes Statt.

179. Bei der Fortpflanzung des Lichtes iſt der Vibrationszuſtand, in welchen von der Lichtquelle entferntere Aethertheilchen gerathen, eine Folge der vorausgegangenen Erſchütterung näherer Theilchen. Man kann daher letztere in Bezug auf erſtere als Lichtquellen betrachten. Der Zuſtand dieſer ſtellt ſich dabei als das Reſultat der Interferenz der Wellen dar, die von jenen, als Schwingungsmittelpunkten, ausgegangen ſind. Hiedurch erlangt die Interferenz des Lichtes für die Erklärung der Phänomene eine Wichtigkeit, die ſelbe zur Würde des oberſten Principes der phyſikaliſchen Optik erhebt. In der That iſt, wie Fresnel, unter deſſen Händen dieſes Princip ſeine wahre Anwendung zuerſt gefunden, nachgewieſen hat, die Beugung und geradlinige Fortpflanzung, die Reflexion und Brechung des Lichtes, wie

auch jede der mannigfaltigen Erſcheinungen durchſichtiger Subſtanzen in polariſirtem Lichte, ja ſelbſt der Act der Polariſation in der weiteſten Bedeutung des Wortes ein Ergebniß der Interferenz der Elementarwellen, die von den einzelnen Punkten einer bereits vorhandenen Welle ausgehen, und ſich zu neuen wirkſamen Wellen zuſammenſetzen. Nachfolgende Darſtellung der vorzüglichſten Anwendungen des Interferenzprincips auf die wichtigſten der erwähnten Erſcheinungen wird die Richtigkeit dieſes Ausſpruches bekräftigen, und zugleich den hohen Werth der Undulationstheorie fühlbar machen.

180. Erklärung der Beugung des Lichtes. Es ſey AB, Fig. 273, der Durchſchnitt eines mit einer engen Spalte CD verſehenen Schirmes mittelſt einer Ebene, die ſenkrecht gegen die parallelen Ränder der Spalte gelegt wurde. Von einem leuchtenden Punkte falle gleichartiges Licht ſenkrecht auf die Oeffnung CD aus einer ſolchen Entfernung, daß alle dieſe Oeffnung treffenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. In jedem Augenblicke tritt in die Oeffnung CD eine neue Welle ein, von deren Krümmung wir aus dem angeführten Grunde abſtrahiren, d. h. die wir als eben anſehen. Alle Aethertheilchen in der Richtung CD werden in jedem Augenblicke von einer Welle gemeinſchaftlich ergriffen, ſie ſind daher in demſelben Augenblicke in einerlei Vibrationsphaſe. Errichten wir in dem Halbirungspunkte E der CD in der Ebene des Schnittes eine Senkrechte EF, ziehen wir ferner durch den von E in einer bedeutenden Entfernung abſtehenden Punkt F eine Parallele MN zu AB, und betrachten wir dieſe als den Durchſchnitt einer Tafel, auf der das Beugungsphänomen, welches die Folge des Durchganges des Lichtes durch die Spalte CD iſt, ſich zeigen ſoll. Von allen in der Oeffnung CD vorhandenen Aethertheilchen gehen in jedem Augenblicke nach allen Richtungen Elementarſtrahlen aus, in welchen (da wir hier nur den Hergang des Phänomens in der Luft betrachten) das Licht mit einerlei Geſchwindigkeit fortgepflanzt wird. Hiebei wird die Phaſe, in der ſich jedes der genannten Aethertheilchen befindet, auf alle dasſelbe umgebenden Aethertheilchen übertragen. Treffen nun in einem Punkte der Tafel MN, z. B. in dem Punkte G, Schwingungen zuſammen, die verſchiedene Wege wie CG, EG, DG zurückgelegt haben, ſo ſind dieſelben von den Punkten C, E, D nicht in demſelben Augenblicke ausgegangen, ſondern die Schwingung, die von C herrührt, iſt, da ſie einen längern Weg CG zurückzulegen hatte, früher ausgegangen, als die von E herrührende, und dieſe wieder früher, als die von D erzeugte. Deßhalb befinden ſich dieſe Schwingungen im Augenblicke ihres Zuſammentreffens in G in verſchiedenen Phaſen, nämlich die Schwingung, welche das Aethertheilchen in C lieferte, in einer frühern als die von E, und dieſe wieder in einer früheren als die von D herkommt. Aehnliche Betrachtungen gelten von den Schwingungen, welche die übrigen Aethertheilchen innerhalb der Oeffnung CD nach G ſenden. Aus der Interferenz aller dieſer Vibrationen geht eine Intenſität des Lichtes in G hervor, die nach der Poſition

dieſes Punktes auf der Tafel MN wechſelt. Wir wollen nun dieſe Intenſität an verſchiedenen Stellen der Tafel MN näher ins Auge faſſen. Im Punkte F kommen Vibrationen zuſammen, die ſich ſämmtlich in wenig von einander abweichenden Phaſen befinden, weil wegen der größeren Entfernung der Tafel MN vom Schirme AB im Vergleiche gegen CD, der Unterſchied zwiſchen CF und EF nur äußerſt gering iſt. Dieſe Vibrationen unterſtützen einander und bringen in F eine Schwingungsintenſität zu Stande, die der Summe der einzelnen Schwingungsintenſitäten nahe gleich kommt, womit auch die Lichtintenſität eine Steigerung erfährt. In F iſt daher dieſe Intenſität am größten. Schreitet man von da nach der einen oder der anderen Seite der Tafel MN fort, ſo nimmt die Intenſität des Lichtes ab. Je weiter man kommt, deſto beträchtlicher wird die Differenz der äußerſten Strahlen wie CG und DG, welche Differenz an der Stelle F gleich Null war. Sobald dieſe Differenz der Wellenlänge L gleich geworden iſt, was jedoch wegen $CG - DG < CD$ nur dann eintreten kann, wenn die Breite der Spalte CD wenigſtens die Größe von L übertrifft, hat man eine Stelle erreicht, in welcher völlige Aufhebung des Lichtes Statt findet. Es ſey nämlich die Poſition des Punktes G von der Art, daß $CG - DG = L$ iſt, ſo iſt ſehr nahe $CG - EG = \frac{1}{2} L$, und überhaupt wenn α und β Punkte ſind, deren erſterer von C ſo weit abſteht als β von E, iſt ſehr nahe $\alpha G - \beta G = \frac{1}{2} L$. Man kann daher für jedes Theilchen zwiſchen C und E ein Theilchen zwiſchen E und D angeben, welches eine Schwingung nach G ſendet, die ſich rückſichtlich der vom erſteren ausgehenden in entgegengeſetzter Phaſe befindet, mithin dieſelbe aufhebt. Daſſelbe ereignet ſich im Punkte G′, wenn die Differenz der Strahlen CG′ und DG′ das Doppelte der Wellenlänge L beträgt. Dann kann man nämlich auf CE und ED wegen $CG' - EG' = L$ und $EG' - DG' = L$ das ſo eben Geſagte anwenden. Dieſelbe Bewandtniß hat es, wenn der Punkt G″ ſo liegt, daß $CG'' - DG'' = 3L$ iſt u. ſ. w. In den Punkten G, G′, G″... auf beiden Seiten von EF wird dem gemäß Dunkelheit herrſchen. Zwiſchen G und G′ wächſt die Intenſität des Lichtes bis zu einem gewiſſen Grade, und nimmt ſodann wieder ab; ein Gleiches iſt zwiſchen G′ und G″ der Fall u. ſ. w. Beſchreibt man aus G mit dem Halbmeſſer GD den Bogen DH, ſo iſt $CH = CG - DG$. Läßt man dieſen Bogen für eine gerade Linie gelten, die auf GE ſenkrecht ſteht, ſo iſt der Winkel $CDH = FEG$, mithin, wenn man letzteren Winkel durch φ bezeichnet, $\sin\varphi = \frac{CH}{CD}$. Setzt man nun die Breite der Spalte $CD = a$ und $CG - DG = nL$, wobei n eine ganze Zahl vorſtellt, ſo iſt $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$. Mittelſt dieſer Formel läßt ſich, wenn L bekannt iſt, der Ablenkungswinkel der Stellen, wo Dunkelheit herrſcht, von der Mittellinie der Erſcheinung berechnen. Iſt die Spalte ſo eng, daß $a < L$ wird, ſo gibt dieſe Formel $\sin\varphi > 1$ was unmöglich iſt; in dieſem Falle herrſcht nirgends auf MN Dunkelheit. Iſt aber a in

Vergleich mit L groß, folglich $\frac{L}{a}$ klein, ſo kann man ſtatt des Sinus von φ den Bogen ſelbſt ſetzen, alſo $\varphi = \frac{nL}{a}$. Dieſe Gleichung gibt das in 142 angeführte Geſetz hinſichtlich der Abſtände der gleichnamigen Stellen der Farbenbilder. Umgekehrt läßt ſich, wenn φ durch Beobachtung gegeben iſt, L finden, denn man hat $L = \frac{a \sin \varphi}{n}$. Hier wurden bloß die Strahlen, welche in der Schnittebene ABNM liegen, berückſichtiget. Es iſt aber für ſich klar, daß dieſelben Schlüſſe auch auf die Strahlen ausgedehnt werden können, welche von einem höheren oder tieferen Querſchnitte ausgehend auf G fallen. Statt der Tafel MN kann man ſich auch das Feld denken, welches die durch eine Loupe zu betrachtenden Gegenſtände enthält. Wendet man zur Beobachtung der Erſcheinung nach Fraunhofer ein gutes Fernrohr an, vor deſſen Objectiv der Schirm mit der Spalte ſteht, und deſſen Ocular ſo gerichtet iſt, daß man den leuchtenden Punkt an der Helioſtatöffnung deutlich ſieht, ſo kann man ohne merklichen Fehler die das Objectiv treffenden Strahlen als parallel gelten laſſen. Alle Elementarſtrahlen, welche nun von der Spalte nach was immer für parallelen Richtungen zu dem Objectiv gelangen, vereinigen ſich in einem Punkte der in dem dieſen Richtungen parallelen Hauptſtrahle in der Bildweite des Objectivs liegt, und haben dabei (wie aus der ſpäter folgenden Theorie der Brechung des Lichtes zu erſehen ſeyn wird) die Phaſen, mit welchen ſie in irgend einer vor dem Objective auf den Hauptſtrahl ſenkrecht gelegten Ebene eintreffen. Auf dieſer Eigenſchaft des Fernrohres beruht der Umſtand, daß die Höhe der Beugungsſpectra nicht größer iſt als die ſcheinbare Höhe der kleinen Oeffnung am Helioſtate, von welcher das Licht kommt, weßwegen man dieſe Oeffnung mit einer Spalte verwechſeln muß, um die Spectra mit einiger Höhe zu erhalten. Ihre Höhe wird dann der ſcheinbaren Höhe der Spalte am Helioſtate gleich.

Erwägt man dieſe Erklärung des hier betrachteten Beugungsphänomens nach allen ihren Theilen, ſo begreift man erſt recht die Unmöglichkeit, mittelſt der Emanationshypotheſe eine haltbare Erklärung desſelben zu Stande zu bringen. Denn das Haupthilfsmittel dieſer Erklärung (ohne welches ihr Ergebniß mit der Erfahrung in Widerſpruch ſtehen würde, während ſie mit ihm der Erfahrung auf das vollkommenſte genügt) iſt die Annahme, daß jeder Punkt innerhalb der beugenden Oeffnung nach allen Richtungen Elementarſtrahlen ſendet, deren Interferenz das Phänomen erzeugt. Wollte man nun auch, um eine theoretiſche Deutung der Interferenz zu erzwingen, den Lichttheilchen periodiſche Anwandlungen zuſchreiben, oder zu Zuſammenſetzungen der durch die Stöße der Lichttheilchen hervorgerufenen Schwingungen der Netzhaut des Auges, oder zu was immer für einem anderen jedenfalls wenig natürlichen hypothetiſchen Grunde ſeine Zuflucht nehmen, ſo kann man doch ein Ausgehen von Lichttheilchen von jedem Punkte eines Lichtſtrahles nach allen Seiten nicht unbedingt zugeben, ſondern nur in ſofern ein lichtbeugendes Object vorhanden iſt,

das durch Molekularkräfte dieſen Effect hervorbringt. Dieſen wird man aber aus dem Spiel ſolcher Kräfte kaum herleiten können, und überdieß mit den großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, die bereits oben S. 377 angedeutet wurden.

181. Es ſeyen im Schirme AB (Fig. 274) zwei einander nahe gleiche und parallele Spalten CD, C'D' angebracht. Fallen wie vorhin homogene Lichtſtrahlen ſenkrecht auf AB, ſo wird jede der Oeffnungen CD, C'D' für ſich das vorhin betrachtete Phänomen veranlaſſen. Liegen daher die Punkte G, G', G''.. auf der Tafel MN oder im Geſichtsfelde des Fernrohres, ſo daß für ſie hinſichtlich der Oeffnung CD, $\sin\varphi = \frac{L}{a}, = \frac{2L}{a}, = \frac{3L}{a} \ldots$ iſt, wobei φ, L und a die frühere Bedeutung haben, ſo wird, in ſofern man bloß dieſe Oeffnung wirkſam denkt, in G, G', G''... Dunkelheit herrſchen. Eben ſolche Punkte werden ſich in Bezug auf das durch die Oeffnung C'D' gehende Licht ergeben. Wendet man zur Beobachtung des Beugungsphänomens ein Fernrohr an, ſo fallen dieſe Punkte offenbar mit den früheren zuſammen (ein Grund, der nebſt anderen den Gebrauch des Fernrohres empfiehlt). Auf einer Tafel dagegen ſind ſie um die Größe des Intervalls CC' getrennt, und fallen daher, wenn DC' klein iſt, ſehr nahe an einander, ſo daß die den beiden Oeffnungen gehörenden dunklen Stellen im erſten Falle genau, im letzteren beinahe einander decken und übereinſtimmend wirken. Nicht ſo iſt es aber bei den lichten Stellen, denn es kommen noch durch die Interferenz der Elementarſtrahlen, die von CD ausgehen, mit jenen die in C'D' ihren Urſprung haben, Effecte zu Stande, welche die vorgenannten modificiren. Liegt nämlich der Punkt g auf MN ſo, daß die Differenz Cg — C'g der Hälfte der Wellenlänge, d. i. $\frac{1}{2}$L, gleich kommt, ſo werden alle Strahlen, die von CD nach g gelangen, durch die von C'D' dahin geſendeten getilgt, denn für zwei Punkte γ, γ', deren einer in CD der andere in C'D' ſo liegt, daß $C\gamma = C'\gamma'$ iſt, hat die Differenz $\gamma g - \gamma' g$ wegen der Kleinheit von CD, C'D' hinſichtlich des Abſtandes der Tafel MN von AB ſehr nahe den Werth $\frac{1}{2}$L, mithin gibt es für jeden Strahl von CD einen von C'D', der nach g in jedem Augenblicke die entgegengeſetzte Phaſe von der hinbringt, die das dort befindliche Aethertheilchen in demſelben Augenblicke durch den erſteren Strahl erhält, wornach in g kein Licht Statt hat. Daſſelbe gilt von den Punkten g', g'' ꝛc., wenn $Cg' - C'g' = \frac{3}{2}L$, $Cg'' - C'g'' = \frac{5}{2}L$ iſt u. ſ. w. Heißt der Winkel, um den jeder nach einem der Punkte g, g', g'' ꝛc. gehende Strahl von der Senkrechten auf AB abweicht, ψ, ſo beſteht zur Beſtimmung der Poſition dieſer Punkte die Gleichung $\sin\psi = \frac{uL}{2b}$, wobei u eine ungerade ganze Zahl, und b die Diſtanz CC', oder was daſſelbe iſt, die Diſtanz der Mitten der Spaltöffnungen vorſtellt, welche Gleichung auf dieſelbe Weiſe wie die in 180 abgeleitete gefunden wird. In der Mitte zwiſchen je zwei benachbarten der Punkte g, g', g''... findet die größte Lichtſtärke Statt; die Oerter derſelben werden durch die

Gleichung $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$ gegeben, worin m eine ganze Zahl iſt. Die hier angeſtellten Betrachtungen und erhaltenen Formeln paſſen auch auf den Fresnel'ſchen Interferenzverſuch, wenn unter b die Diſtanz der beiden Bilder verſtanden wird. Die Größe, welche wir in 155 durch ω vorgeſtellt haben, iſt mit L einerlei.

182. Enthält der Schirm drei oder mehrere gleiche, parallele und gleichweit von einander abſtehende Spalten, ſo entſteht im homogenen Lichte ein Beugungsphänomen, demjenigen ähnlich, welches eine einzelne der Oeffnungen für ſich gegeben hätte, und aus dem Zuſammenfallen der den einzelnen Oeffnungen zukommenden entſpringen. Die dunklen Stellen desſelben werden durch die Gleichung $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$ gegeben, wobei a die Breite einer Oeffnung bedeutet. Außerdem aber wirken die von den einzelnen Oeffnungen herrührenden Strahlen auf einander wechſelweiſe ein, und vernichten ſich an gewiſſen Stellen. Es ſeyen z. B. fünf Oeffnungen vorhanden. Man nehme auf der Tafel MN, Fig. 275, einen Punkt g, ſo daß die Differenz

$$Cg - C'g = C'g - C''g = C''g - C'''g = C'''g - C^{IV}g$$

den fünften Theil der Wellenlänge ausmacht, d. i. $= \frac{1}{5}L$ iſt, ſo herrſcht in g Dunkelheit. Denn nehmen wir an, das vom Punkte C nach g in irgend einem Augenblicke geſendete Licht befinde ſich in einer gewiſſen Phaſe, ſo iſt die Phaſenzeit des Lichtes, welches in demſelben Augenblicke von C' nach g kommt, um den fünften Theil der Schwingungsdauer $= \frac{1}{5}T$ gegen erſtere voraus; das von C'', C''', C^{IV} herrührende Licht iſt der Phaſe nach, im Vergleiche gegen das von C in g eintreffende, um $\frac{2}{5}T$, $\frac{3}{5}T$, $\frac{4}{5}T$ voraus, dieſe fünf Strahlen heben nun entweder einander auf, oder ſie bringen eine Schwingung des Aethertheilchens in g hervor, deren Undulationsdauer keine andere als T ſeyn kann (173), und vermöge welcher das Aethertheilchen in dem genannten Augenblicke in einer gewiſſen Phaſe iſt. Wird letzterer Fall als möglich angenommen, ſo kehrt dieſe Phaſe nach der Zeit $\frac{1}{5}T$ wieder zurück. Denn das Licht, welches nach dieſer Zeit von C zu g gelangt, entſpricht einem Fortſchritte in der Schwingung um $\frac{1}{5}T$, weßwegen ſeine Phaſe jetzt genau die iſt, welche in dem vorigen Zeitpunkte dem von C' nach g geſendeten Lichte angehörte. Ferner nimmt C' die frühere Phaſe von C'', C'' jene von C''', C''' jene von C^{IV}, endlich C^{IV}, weil wegen des periodiſchen Umlaufes ein Fortſchritt um $\frac{1}{5}T$ in dieſelbe Phaſe führt, wie ein Rückſchritt um $\frac{4}{5}T$, jene von C an. Es iſt alſo nur die Ordnung nicht die Größe der Phaſen der fünf interferirenden Lichtſtrahlen geändert, mithin muß das Reſultat der Interferenz das vorige bleiben. Eben ſo kann man zeigen, daß dieſes Reſultat nach dem Verlaufe eines neuen Fünftels der Zeit T wiederkehrt u. ſ. w. Es wäre alſo durch das Zuſammenwirken der genannten Strahlen eine Undulation entſtanden, bei welcher dieſelbe Phaſe wenigſtens nach Verlauf von $\frac{1}{5}T$ wieder kommt, mithin wäre die Undulationsdauer geändert und wenigſtens auf $\frac{1}{5}T$ herabgeſetzt,

was nicht ſeyn kann. Es bleibt ſomit nur der Fall des Aufhebens der Undulation ſelbſt als zuläßig übrig. Auf dieſelbe Art läßt ſich zeigen, daß ſich die fünf Strahlen, die von anderen aber ähnlich liegenden Punkten in CD, C′D′, C″D″ ꝛc. herkommen, gegenſeitig vernichten. Es herrſcht alſo in g Dunkelheit. Eben entſteht in g′ Dunkelheit, wenn $Cg' - C'g' = \frac{2}{5}L$ iſt, und in g″, wenn $Cg'' = C'g'' = \frac{3}{5}L$ iſt u. ſ. w. Dagegen wird in G volles Licht ſeyn, wenn $CG - C'G = L = \frac{5}{5}L$ iſt, denn da treffen von ähnlich liegenden Punkten der Oeffnungen die Strahlen in einerlei Augenblick in gleichen Phaſen zuſammen, und verſtärken ſich. Eben daſſelbe tritt in G′ ein, wenn $CG' - C'G = 2L$ iſt u. ſ. w. Dagegen wird in den Punkten, für welche die Strahlendifferenz in Bezug auf ähnlich liegende Punkte benachbarter Oeffnungen $\frac{6}{5}L$ oder $\frac{7}{5}L$ u. ſ. w. iſt, Dunkelheit obwalten. Es werden daher die dunklen Stellen noch durch die Formel $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$ gegeben, wobei q eine ganze durch die Anzahl r der Oeffnungen nicht theilbare Zahl, und b den Abſtand der Mittelpunkte zweier nächſten Oeffnungen vorſtellt; den durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$, worin m eine ganze Zahl iſt, angezeigten Stellen aber entſprechen Maxima des Lichts. Vergleicht man die Reſultate dieſer Erklärung mit der Beſchreibung der Beugungsphänomene in 145, ſo zeigt ſich die vollkommenſte Uebereinſtimmung der Theorie mit der Erfahrung.

183. Geht homogenes Licht ſenkrecht durch ein Gitter mit ſehr vielen einander nahen gleichen Spalten, deren Abſtände gleich ſind, ſo wird in der Formel für die dunklen Stellen der Spectra der dritten Claſſe $\sin\psi = \frac{qL}{rb}$, $r = \infty$, mithin herrſcht überall Dunkelheit, außer wo die durch die Formel $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$ angegebenen lichten Stellen hinfallen. Hieraus erklärt ſich das in 146 beſchriebene Phänomen. Dieſes läßt ſich, wenn ψ′ genau gemeſſen wird, zur Beſtimmung von L gebrauchen, wie Fraunhofer gethan hat. Man erhält nämlich $L = \frac{b\sin\psi'}{m}$. Auf dieſe Weiſe fand Fraunhofer für die Strahlen nächſt den Stellen C, D, E, F, G, H im Farbenbilde (S. 268) folgende Werthe der Wellenlänge in der Luft in Hunderttauſendtheilen eines Pariſer Zolles.

Wellenlänge für C = 2422
D = 2175
E = 1945
F = 1794
G = 1587
H = 1464.

Die ungemeine Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes im Vergleiche mit deſſen ungeheurer Fortpflanzungsgeſchwindigkeit, läßt auf eine außerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, mithin auf eine über alle

Vorſtellung große Menge von Schwingungen in einer Zeitſecunde ſchließen. Es hängt nämlich die Wellenlänge L mit der Schwingungsdauer T und mit der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit V der Wellen durch die Gleichung $L = V T$ zuſammen. Bezieht ſich die Angabe von V auf eine Secunde, wornach auch T durch die Secunde zu meſſen iſt, ſo gibt $\frac{1}{T}$ die Anzahl der Schwingungen N in einer Secunde, mithin iſt $N = \frac{V}{L}$. Nimmt man nun an, für eine gewiſſe Lichtſorte (von gelber Farbe) ſey $L = 0.00002$ W. Zoll, und ſchlägt man den Werth von V nur auf 40000 Meilen an, jede zu 4000 Klafter gerechnet, ſo hat man, durch Reduction von V auf Zolle,

$$N = 40000 \,.\, 4000 \,.\, 6 \,.\, 12 \,.\, 100000 : 2 = 576 \,.\, 10^{12}.$$

Es zeigt ſich daher in dieſem Falle die ungeheure Anzahl von 576 Billionen Schwingungen in 1 Sec. Die Schwingungsdauer iſt für rothes Licht größer als für violettes; das rothe Ende des Spectrums iſt daher den tiefſten, das Violette den höchſten Tönen analog. Nach Herſchel variirt die Anzahl der Schwingungen in 1 Sec. vom äußerſten Roth bis zum äußerſten Violett von 458 bis 727 Billionen, ein Intervall, das bedeutend weniger als eine Octave beträgt.

184. Wir haben bisher, der Einfachheit des Falles wegen, ſtets angenommen, daß die Lichtſtrahlen die beugenden Oeffnungen ſenkrecht treffen. Ohne Schwierigkeit läßt ſich die Betrachtung auch auf den Fall ausdehnen, wenn die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit dem Schirme einen ſchiefen Winkel machen. Man hat bloß den Umſtand zu beachten, daß die in der Ebene der Oeffnungen vorhandenen Aethertheilchen in demſelben Augenblicke in verſchiedenen, von der Schiefe der Strahlen abhängenden Phaſen ſich befinden. Die Theorie der Beugung durch Gitter mit Reihen von Oeffnungen, deren Geſtalten und Anordnung welche immer ſeyn mag, läßt ſich auf dem Wege der Undulationstheorie nicht weniger genügend entwickeln, als die oben betrachteten einfachen Fälle; jedoch iſt hiezu eine bloß populäre Vorgangsweiſe nicht hinreichend, ſondern man muß die Rechnung zu Hilfe rufen. Dieſe gibt Reſultate, die nicht bloß mit der Erfahrung auf das Genaueſte harmoniren, ſondern auch auf Einzelnheiten der Phänomene aufmerkſam machen, die ſonſt leicht überſehen würden. Eine vollſtändige und ſorgfältige Behandlung dieſes Gegenſtandes findet man in dem, auch treffliche Winke zur leichten Anſtellung der Verſuche enthaltenden Werke: Die Beugungserſcheinungen aus den Fundamentalgeſetzen der Undulationstheorie analytiſch entwickelt und in Bildern dargeſtellt von F. M. Schwerd. Mannheim 1835.

185. Die Theorie der Beugung des Lichtes am Rande eines undurchſichtigen Schirmes, oder an beiden Rändern eines ſchmalen Körpers gründet ſich auf die Wirkung eines Wellenſtückes, das ſich nach einer Seite ins Unbeſtimmte ausbreitet und nur nach der andern Seite begrenzt iſt, auf einen Punkt. Folgende Betrachtungen mögen hinreichen, zu zeigen, wie dieſe Beugungsphänomene aus der undulirenden Bewegung des Aethers entſpringen, in ſo weit es möglich iſt, davon ohne Anwendung der mathematiſchen Analyſe einen Begriff zu

geben. Es ſey AB, Fig. 276, ein normaler Durchſchnitt eines Wellenſtückes, das von einem homogenes Licht gebenden Punkte oder von einer Linie ausgeſendet wird, und von deſſen Krümmung wir abſtrahiren, AC die Normale zum Punkte A nach der Richtung des Fortſchreitens der Welle gezogen, P ein in bedeutender Diſtanz von A angenommener Punkt, der ſich jenſeits der AC befinde. Man theile AB in Theile Aa, ab, bc, cd, de u. ſ. w., ſo daß der Unterſchied der Entfernungen der Grenzpunkte eines jeden von P die Hälfte der Wellenlänge des Lichtes beträgt, mithin $aP - AP = \frac{1}{2}L$, $bP - aP = \frac{1}{2}L$, $cP - bP = \frac{1}{2}L$ u. ſ. w. iſt. Die Elementarſtrahlen, welche von den Punkten A, b, d, ... ausgehen, bringen, indem ſie in P zuſammentreffen, übereinſtimmende Phaſen dahin; die von den Punkten a, c, e, ... herrührenden Phaſen aber ſind erſteren gerade entgegengeſetzt. Daſſelbe gilt von ähnlich liegenden Punkten der Stücke Aa, bc, de, ... im Vergleiche mit ab, cd, ... Ertheilt nun die Geſammtwirkung aller Punkte des Stückes Aa dem Punkte P eine gewiſſe Phaſe, ſo empfängt er in demſelben Augenblicke von dem Stücke ab eine entgegengeſetzte, aber von geringerer Energie, denn die Ausdehnung des Stückes Aa iſt etwas größer als die des Stückes ab, und erſteres iſt auch dem Punkte P etwas näher als letzteres. Daſſelbe gilt von dem Effecte des Stückes bc im Vergleiche mit dem gleichzeitigen von ab u. ſ. w. Nennen wir nun die Vibrationsintenſitäten des Punktes P, in Folge der gleichzeitigen Geſammtwirkung der Stücke Aa, ab, bc, cd, de ... auf ihn, der Reihe nach $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ ſo iſt, wenn I die reſultirende Intenſität der Schwingung von P vorſtellt:

$$I = \alpha - \beta + \gamma - \delta + \varepsilon - \ldots$$

wobei $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ eine abnehmende Reihe bilden, deren Glieder zuletzt ganz unmerklich werden. Auch lehrt die Rechnung, daß, wenn P anfänglich in C und ſodann nach der auf AC ſenkrechten Richtung Cz ſich von AC entfernend gedacht wird (wobei zugleich die Punkte a, b, c, ... ſich entſprechend verſchieben), der Werth von I ununterbrochen fort abnimmt, ein Reſultat, welches übrigens aus der Natur der Sache ſich vorausſehen läßt. Alles Geſagte beſteht auch noch, wenn man die von anderen Durchſchnitten der Welle AB nach P geſendeten Elementarſtrahlen in die Betrachtung aufnimmt. Iſt daher AH ein Schirm, der bloß das Wellenſtück AB vorbei läßt, mithin Cz der geometriſche Schatten dieſes Schirmes, ſo nimmt die Lichtſtärke von C gegen z hin ſehr raſch ab. Iſt aber AH ein ſehr ſchmaler Körper, ſo daß das von der anderen Seite desſelben in den geometriſchen Schatten einwirkende Licht eine mit der des erſteren vergleichbare Stärke hat, und der Gangunterſchied beider Lichtbündel nicht zu groß iſt, ſo interferiren ſich dieſelben nahe nach dem oben (181) für eine Doppelſpalte gefundenen Geſetze, wobei man die Ränder A und H näherungsweiſe wie die Spalten wirkend betrachten darf. Befindet ſich aber der Punkt P dießſeits der AC, Fig. 277, ſo ziehe man von ihm zur Welle die Normale PE, und verbinde P mit A.

Iſt der Unterſchied AP — EP kleiner als die Hälfte einer Wellenlänge, ſo fügt das Stück AE zu dem Effecte, den EB in P hervorbringt, etwas hinzu; iſt AP — EP größer als vorhin und kleiner als eine Wellenlänge, ſo wirkt, wenn h in EA ſo angenommen wird, daß hP — EP $= \frac{1}{2}$L iſt, hB auf P, wie eben geſagt wurde, aber die Action von hA vermindert dieſen Effect. Liegt die Differenz AP — EP zwiſchen L und $\frac{3}{2}$L, ſo iſt der Lichteffect in P wieder größer als im nächſt vorhergehenden Falle. Hieraus ergibt ſich die Folge, daß, wenn AH ein Schirm von bedeutender Breite iſt, die Stärke der Beleuchtung außerhalb ſeines geometriſchen Schattens in CP, durch mehrere abwechſelnd auf einander folgende Maxima und Minima geht, nämlich von C gegen P hin zuerſt wächſt, dann abnimmt, ohne jedoch bis auf Null herab zu ſinken, hierauf wieder wächſt u. ſ. w. Hiedurch ſind die Streifen erklärt, welche man am Rande des Schattens jedes breiten, von einem Punkte beleuchteten Körpers wahrnimmt. Dieſe Streifen finden ſich auch vor, wenn der Körper AH ſchmal iſt, jedoch modificirt das von H auf die andere Seite gelangende Licht dieſelben um ſo mehr, je geringer die Breite AH iſt.

Andere Phänomene, z. B. daß bei Beleuchtung eines kleinen kreisrunden Schirmes durch einen Lichtpunkt die Mitte ſeines Schattens eben ſo hell iſt, als wenn der Schirm nicht da wäre u. dgl., beſtätigen die Richtigkeit der Theorie um ſo mehr, als ſie durch ſelbe vorausgeſagt und erſt hinterher durch Verſuche nachgewieſen worden ſind Ueber die Beugung des Lichtes an den Rändern der Körper ſ. Fresnel in Pogg. Ann. 30. 100.

186. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Die Theorie der Beugung des Lichtes nach den Principien der Undulationshypotheſe läßt uns einſehen, was es mit der ſogenannten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes für eine Bewandtniß habe. Im Allgemeinen findet ſie, wie die Beugungsphänomene lehren, nicht Statt; denn der durch eine enge Spalte hindurch von einem Punkte beleuchtete Raum iſt größer, als er dieſer Fortpflanzungsweiſe des Lichtes gemäß ſeyn ſollte, und die Durchſchnittspunkte der Streifen einer gewiſſen Ordnung mit einer auf die Spalte ſenkrechten Ebene liegen, weil die Differenz ihrer Abſtände von den Rändern der Oeffnung conſtant bleibt, in einer Hyperbel, deren Brennpunkte in dieſen Rändern ihren Sitz haben. Wo die geradlinige Lichtfortpflanzung Statt hat, geht ſie aus dem Umſtande hervor, daß ſich alles Seitenlicht durch Interferenz zerſtört. Je weiter man eine Spalte öffnet, die das von einem Punkte ausfahrende Licht theilweiſe aufhält, deſto mehr rücken die Beugungsſpectra, deren äußerſte eine verſchwindende Intenſität haben, an einander, und ſämmtliche Spectra werden bei zu großer Oeffnung endlich unmerklich. Hindert man einen Theil der einander aufhebenden Strahlen zu den übrigen zu kommen, ſo bleiben dieſe wirkſam, ein Umſtand, der den Zuſammenhang zwiſchen Beugung und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes klar darlegt.

187. Reflexion und Brechung des Lichtes. Es ſey

A, Fig. 278, ein leuchtender Punkt, von welchem Lichtſtrahlen AB, AB' u. ſ. w. auf die Trennungsfläche CD zweier Mittel fallen. Die in CD liegenden Aethertheilchen werden hiedurch erſchüttert. Da ſie aber nicht wie die das Licht längs AB, AB' fortpflanzenden Aethertheilchen ausweichen, indem ſie durch andere Kräfte, wie jene beherrſcht werden, ſo wirken ſie ſowohl auf das Medium, in welchem ſich das Licht urſprünglich bewegt hat, wie auch auf das jenſeits CD befindliche Mittel, und erzeugen dadurch, gleichſam wie eine ſelbſtſtändige Lichtquelle, neue Wellen. Die in das urſprüngliche Mittel zurückſchreitenden Wellen begründen das reflectirte, die in dem anderen Mittel, wenn es zur Fortpflanzung des Lichtes geeignet iſt, erregten das gebrochene Licht. Gleich wie ſich in dem erſten Mittel um A eine Fläche denken läßt, zu deren Punkten die von A ausgehenden Erſchütterungen gleichzeitig gelangen, und die, wenn man dieſelbe Reihe gleichzeitiger Vibrationen weiter verfolgt, ſich fortwährend ausbreitet, ihren früheren Formen ſtets ähnlich bleibend, welche Fläche wir in 168 Wellenfläche nannten; eben ſo laſſen ſich auch für das reflectirte und gebrochene Licht Wellenflächen denken, als geometriſche Orte der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen. Um dieſelben conſtruiren, insbeſondere um zu jedem gegebenen einfallenden Strahle die durch Reflexion und Brechung entſtehenden angeben zu können, wenden wir das in 179 angedeutete allgemeine Princip ſo an, wie es in der directen Fortſchreitung des Lichtes in einem homogenen Mittel ſich zu erkennen gibt. Iſt nämlich A, Fig. 279, ein vibrirender Punkt, und MN die einer Vibration nach Verlauf einer beliebigen Zeit t entſprechende Wellenfläche; ferner CD eine nach Willkür zwiſchen A und MN angenommene Fläche, ſo werden die auf ihr in a, b, c, d, ... liegenden Aethertheilchen von jeder Vibration des Punktes A im Allgemeinen in verſchiedenen Zeiten τ, τ', τ'', τ''', ... erreicht. Man ſehe nun die Punkte a, b, c, d, ... als ſelbſtſtändige Mittelpunkte der Undulationen an, und conſtruire um a herum die Wellenfläche mit den Dimenſionen, die ihr nach Verlauf der Zeit $t-\tau$ von ihrem Urſprunge an gerechnet zukommen; eben ſo beſchreibe man für b, c, d, ... die Wellenflächen hinſichtlich der Fortpflanzungszeiten $t-\tau'$, $t-\tau''$, $t-\tau'''$, ... u. ſ. w. Denkt man ſich jetzt die Punkte a, b, c, d, ... einander unendlich nahe, ſo bilden die zwiſchen den Durchſchnitten der dicht an einander gereihten Wellenflächen liegenden Stücke wie mn, np ꝛc. eine Fläche, von der die erſteren Flächen ſämmtlich berührt werden, und dieſe iſt keine andere, als die Wellenfläche MN ſelbſt. Hiebei ſind die Geraden am, bn, cp, ..., die Fortſetzungen der Lichtſtrahlen Aa, Ab, Ac, ... Die Poſition des Punktes m auf MN wird, unter der Vorausſetzung, daß ab unendlich klein iſt, durch die Bedingung beſtimmt, daß Aa + am und Ab + bm von jeder Undulation des Punktes A in einerlei Zeit zurückgelegt werden. Hiezu können wir noch die Bemerkung fügen, daß die von a, b, c, d, ... ausgehenden Vibrationen einander in m, n, p, ... wegen der Gleichheit der Phaſen, mit denen ſie daſelbſt

ankommen, unterſtützen (obgleich in einerlei Augenblick a, b, c, d, ... verſchiedene Phaſen zeigen), dagegen die von eben dieſen Mittelpunkten ſeitwärts geſendeten Vibrationen einander durch Interferenz aufheben. Setzen wir nun an die Stelle der Fläche CD in Fig. 279 die Trennungsfläche zweier heterogenen Mittel Fig. 278; betrachten wir die Punkte a, b, c, d, ... letzterer als Mittelpunkte der Undulationen, conſtruiren in beiden Medien die Wellenflächen, welche gleichen Fortpflanzungszeiten vom Urſprunge des Lichtes in A an gerechnet, zugehören; ſo geben die Berührungsflächen MN, PQ beider Reihen von Wellenflächen die Wellenfläche für das reflectirte und gebrochene Licht, und die aus dem Mittelpunkte, z. B. a einer Elementarwelle zu den Berührungspunkten x, y gezogenen Geraden die Lichtſtrahlen ax, ay, welche durch Modification des von der Lichtquelle auf CD fallenden Strahles Aa entſtehen. Obgleich wir, ohne nähere Beſtimmung der Beſchaffenheit des einfallenden Strahles, ſeiner Lage, und der Natur der an einander grenzenden Mittel über die Art der von der Trennungsfläche in beide ausgehenden Schwingungen nichts auszuſagen vermögen; ſo iſt es doch gewiß, daß, wenn zwiſchen zwei unmittelbar von A ausgegangenen und in CD eintreffenden Erſchütterungen ein Phaſenunterſchied beſteht, die Schwingungen, welche von den erſchütterten Punkten in CD ausgehen, dieſelbe Phaſendifferenz zeigen. Dieß berechtiget uns, obige Bemerkung in Betreff der Uebereinſtimmung der Phaſen in der Richtung der directen Strahlen, und die Aufhebung des Lichtes außerhalb derſelben auch auf die reflectirten und gebrochenen Strahlen auszudehnen. Aus den Grundgeſetzen der vibrirenden Bewegung folgt überdieß, daß, wenn das einfallende Licht ein homogenes iſt, die Farbe desſelben durch Reflexion oder Brechung keiner Aenderung unterliegt, denn welche Aenderungen auch immer an der Form der Bahn der Aethertheilchen oder ihren Abmeſſungen vor ſich gehen mögen, die Dauer einer einfachen Oſcillation bleibt ſtets dieſelbe. Vorliegende Betrachtung wird hinreichend bemerklich machen, wie es kommt, daß Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze durchſichtiger Medien zugleich auftreten, und auch das Band, welches dieſe Erſcheinungen verknüpft, enthüllen. Uebrigens liegt es außerhalb der Grenzen dieſes Lehrvortrages, das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes nach ſeinem ganzen Umfange zu durchgehen, ſondern wir beſchränken uns auf die Betrachtung der einfacheren Fälle.

188. Es ſey das Mittel, worin ſich das vom Punkte A auf eine Ebene CD, Fig. 280, einfallende Licht bewegt, ein einfach brechendes, und der Gang des reflectirten Lichtes zu beſtimmen. In einem ſolchen Mittel pflanzt ſich gleichartiges Licht, das wir hier ausſchließend beachten, nach allen Richtungen gleich ſchnell fort; es müſſen daher die Wege, welche von demſelben binnen gleichen Zeiten zurückgelegt werden, gleiche Länge haben. Nehmen wir jetzt auf der Ebene CD beliebige Punkte a, b, c u. ſ. w. an, die von den Strahlen Aa, Ab, Ac getroffen werden, ſo müſſen wir dem in 187 Ge-

ſagten zu Folge mit Halbmeſſern, die wir vor der Hand X, Y, Z ꝛc. nennen wollen, und deren Größen ſo gewählt ſind, daß

$$Aa + X = Ab + Y = Ac + Z \text{ u. ſ. w.}$$

iſt, aus a, b, c, ... Kugelflächen beſchreiben. Die gemeinſchaftliche Berührungsfläche aller dieſer Kugelflächen iſt eine Wellenfläche des reflectirten Lichtes, und die von a, b, c, ... zu den Berührungspunkten der zugehörenden Kugelflächen mit jener Fläche geführten Halbmeſſer, geben die Richtungen der aus Aa, Ab, Ac, ... entſtehenden reflectirten Strahlen an. Die Halbmeſſer X, Y, Z, ... erhält man auf folgende Art: Man fälle aus A auf CD die Senkrechte AB, verlängere dieſelbe bis A', ſo daß A'B = AB wird, ziehe von A' durch a, b, c, ... die unbeſtimmten Geraden A'ax, A'by, A'cz, ... und beſchreibe aus A' als Mittelpunkt mit einem beliebigen Halbmeſſer, der aber viel größer als A'a iſt, eine Kugelfläche MN, welche die genannten Geraden jenſeits CD in x, y, z, ... ſchneidet, ſo ſind ax, by, cz, ... die verlangten Halbmeſſer. Es iſt klar, daß die mit denſelben zu verzeichnenden Kugelflächen die Fläche MN zur gemeinſchaftlichen Berührungsfläche haben, und daß x, y, z, ... die Berührungspunkte ſeyn werden. Demnach iſt die Kugelfläche MN eine Wellenfläche, und die reflectirten Strahlen ax, by, cz, ... haben ſolche Richtungen, als ob ſie von dem Punkte A' ausgegangen wären, eine Folgerung, die mit dem bekannten Reflexionsgeſetze des Lichtes auf das Genaueſte harmonirt.

Wäre die Ausdehnung der reflectirenden Fläche CD ſehr klein, ſo würde ſich aus nun leicht einzuſehenden Gründen ein Beugungsphänomen einſtellen, gerade ſo, als ob das Licht von A' durch eine der CD gleiche Oeffnung gegangen wäre.

189. Betrachten wir jetzt den Uebergang des Lichtes aus einem einfach brechenden Mittel in ein anderes einfach brechendes. Die auf die ebene Trennungsfläche CD, Fig. 281, beider einfallenden Strahlen ſeyen wie vorhin Aa, Ab, Ac u. ſ. w. Die Verſchiedenheit beider Mittel liegt in der verſchiedenen Geſchwindigkeit, mit welcher ſie das Licht fortpflanzen. Angenommen, daß ſich die Geſchwindigkeit des Lichtes in dem Mittel, das den einfallenden Strahl enthält, zu der Geſchwindigkeit des Lichtes in dem brechenden Mittel verhalte, wie n : 1, ſo werden die Halbmeſſer X, Y, Z, .. mit welchen innerhalb des brechenden Mittels, aus den Mittelpunkten a, b, c, ... die Kugelflächen zu beſchreiben ſind, deren gemeinſchaftliche Berührungsfläche die Wellenfläche des gebrochenen Lichtes gibt, durch die Gleichungen $\frac{Aa}{n} + X = \frac{Ab}{n} + Y = \frac{Ac}{n} + Z$ ꝛc. dargeboten; denn die Zeiten, binnen welchen das Licht ſeine Wege in den verſchiedenen Mitteln zurücklegt, werden durch die Quotienten dieſer Wege mit den entſprechenden Geſchwindigkeiten gemeſſen. Es iſt klar, daß die Kugelflächen, deren Mittelpunkte dem Punkte a unendlich nahe liegen, einander in einem Punkte der Ebene begegnen, die durch Aa ſenkrecht gegen CD gelegt iſt, und dieſer Punkt iſt zugleich der Berührungspunkt der Wellen-

fläche und der aus a beſchriebenen Kugelfläche. Es ſey x dieſer Berührungspunkt und b in der Einfallsebene des Strahles Aa unendlich nahe an a, ſo beſteht die Gleichung $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Ab}{n} + bx$, aus der $Ab - Aa = n(ax - bx)$ folgt. Man mache $AG = Aa$ und $xH = xb$, und ziehe aG, bH, ſo iſt dieſer Gleichung gemäß

$$bG = n . ah, \text{ daher } bG : aH = n : 1.$$

Man darf hier, wegen der Kleinheit der Winkel aAb, axb, die Winkel G, H als rechte betrachten, und erhält dadurch mittelſt der Dreiecke aGb, aHb:

$$ab : bG = 1 : \sin baG, \quad ab : aH = 1 : \sin abH, \text{ mithin}$$

$bG : aH = \sin baG : \sin abH$ daher auch $\sin baG : \sin abH = n : 1$.
Errichtet man EF in a auf CD ſenkrecht, ſo iſt der Winkel baG gleich dem Einfallswinkel AaE und abH gleich dem Brechungswinkel xaF, folglich

$$\sin AaE : \sin xaF = n : 1,$$

welches das Geſetz der gewöhnlichen Brechung des Lichtes iſt.

Die Brechung erfolgt zum Einfallslothe, wenn $n > 1$ und vom Einfallslothe, wenn $n < 1$ iſt Im erſten Falle pflanzt alſo das brechende Mittel die undulirende Bewegung langſamer, im zweiten ſchneller fort, als das urſprüngliche Mittel des Lichtſtrahles. Nach den Principien der Emanationshypotheſe verhält ſich die Sache gerade umgekehrt. Die Mittel, welche den Gang des eintretenden Lichtes beſchleunigen, brechen es zum Einfallslothe, die, welche den Gang des eintretenden Lichtes verzögern, brechen es vom Einfallslothe. Dieſer Umſtand könnte, wenn es noch nöthig wäre, zu einer directen Entſcheidung des Rangſtreites beider Anſichten dienen, ſobald es gelänge, durch Verſuche nachzuweiſen, ob das Licht in ſtärker brechenden Mitteln ſich langſamer oder ſchneller bewege, als in ſchwächer brechenden. Arago hat hiezu die Anwendung eines rotirenden Spiegels vorgeſchlagen, ein von Wheatſtone zum Behufe der Unterſuchung der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Electricität erdachtes und mit gutem Erfolge angewendetes Hilfsmittel. (Vergl. Electricitätslehre.)

Aus der Grundlage obiger Deduction erhellet, daß der Durchſchnittspunkt zweier nächſten Strahlen nach ihrer Reflexion oder Brechung ein Punkt der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen iſt. Ein ſolcher Punkt iſt demnach der Brennpunkt oder der Ort des Bildes vor einem Hohlſpiegel oder hinter einer Sammellinſe. Daraus wird man einſehen, warum ſich die Lichtſtrahlen in dieſen Punkten ſtets verſtärken, nie aber durch Interferenz ſchwächen oder gar aufheben können. Eine Brennlinie oder Brennfläche iſt eine ſtetige Folge von Punkten gleichzeitiger Ankunft des Lichtes.

190. Die Geſtalt der durch einen leuchtenden Punkt erzeugten Wellenfläche nach der Brechung an der ebenen Grenzfläche zweier einfach brechenden Mittel weicht von der Kugelform ab, und kann auf dem in Vorhergehenden angedeuteten Wege mittelſt geeigneter analytiſcher Methoden berechnet werden. Iſt jedoch der leuchtende Punkt von der brechenden Ebene ſo weit entfernt, daß alle von ihm auf dieſelbe fallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, d. h. handelt es ſich lediglich um die Brechung einer ebenen Welle, ſo

iſt leicht einzuſehen, daß die gebrochene Welle gleichfalls eine ebene Geſtalt haben werde, und es kann die Lage derſelben nach den angeführten Principien ausgemittelt werden. Es ſey AK, Fig. 282, der Durchſchnitt einer ebenen Welle mit einer Ebene, die auf ihr und auf der brechenden Ebene ſenkrecht ſteht, ſo beruht die Fortpflanzung der Welle AK auf dem Fortſchreiten der in allen Punkten derſelben, wie A, B, C... gleichzeitig, und daher auch mit übereinſtimmenden Phaſen Statt findenden Vibrationen. Man hat hier bloß auf die Richtungen zu ſehen, nach denen die einander unterſtützenden Schwingungen weiter gehen, und kann daher annehmen, daß längs der auf AK ſenkrechten Geraden Aa, Bb, Cc u. ſ. w. Schwingungen fortgehen, die in a, b, c... auf der Trennungsfläche der Mittel Erſchütterungen erregen, in Folge deren dieſe Punkte in das brechende Mittel kugelförmige Wellen ſenden. Es ſeyen X, Y, Z, ... die Halbmeſſer der letzteren in einem beſtimmten Augenblicke, ſo beſtehen die Gleichungen $\frac{Aa}{n} + X = \frac{Bb}{n} + Y = \frac{Cc}{n} + Z$ u. ſ. w., wobei n die frühere Bedeutung hat (189). Aus dieſen Gleichungen folgt
$Bb - Aa = n\,(X - Y)$, $Cc - Bb = n\,(Y - Z)$ u. ſ. w.
Es verhalten ſich demnach die Unterſchiede jener Halbmeſſer wie die Unterſchiede der Strahlen Aa, Bb, Cc ꝛc., woraus nothwendig hervorgeht, daß die ſtetige Folge der benachbarten Durchſchnittspunkte aller ſo möglichen gleichzeitigen Kugelwellen eine Ebene darſtellt, die ſämmtliche Kugelflächen gemeinſchaftlich berührt. Um die Lage dieſer Ebene zu finden, ziehe man zu AK im brechenden Mittel die Parallele QH, verlängere Aa bis Q, beſchreibe aus a mit einem Halbmeſſer, der ſich zu aQ verhält wie 1 : n, einen Kreis, und ziehe zu demſelben aus H die Tangente Hx. Dieſe iſt der Durchſchnitt der gebrochenen Welle, und der zum Berührungspunkte x gehende Halbmeſſer ax iſt der aus Aa entſpringende gebrochene Strahl. In der That verlängert man Bb bis R, und zieht man by auf Hx ſenkrecht, ſo hat man einerſeits $aH : bH = aQ : bR$, andererſeits $aH : bH = ax : by$, mithin $ax : by = aQ : bR$. Aber es iſt

$$ax : aQ = 1 : n, \text{ oder } ax = \frac{aQ}{n}, \text{ mithin auch } by = \frac{bR}{n}.$$

Dem gemäß ergibt ſich

$$\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Aa + aQ}{n} = \frac{AQ}{n};\quad \frac{Bb}{n} + by = \frac{Bb + bR}{n} = \frac{BR}{n}.$$

Aber es iſt $AQ = BR$, folglich iſt auch $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Bb}{n} + by$. Betrachtet man daher ax als den Halbmeſſer X, ſo iſt $by = Y$, wodurch die Uebereinſtimmung von Hx mit der Lage der gebrochenen Welle bewieſen iſt. Auch ſieht man nun, daß dieſe Conſtruction mit der in 105 gewieſenen identiſch iſt.

191. Aus den allgemeinen Gleichungen der Fortpflanzung der undulirenden Bewegung in einem Syſteme materieller Theilchen von der Art, wie man ſich den Lichtäther vorzuſtellen hat, ergibt ſich,

Cauchy's Analyſe gemäß, das wichtige Reſultat, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der einfachen Schwingungen, in welchen das homogene Licht beſteht, im Allgemeinen von der Schwingungsdauer abhängt. Beide Größen erſcheinen nämlich durch eine Gleichung mit einander verknüpft, in welcher ſich übrigens noch Größen befinden, die durch die ſpecielle Natur des Mittels dargeboten werden. Iſt daher die eine der zwei erſteren Größen gegeben, ſo iſt die andere beſtimmt. Hierin liegt der Grund, daß die Wellen, worin die Aethertheilchen ihre Schwingungen in kürzerer Zeit vollbringen, ſich langſamer fortpflanzen als diejenigen, deren Schwingungsdauer größer iſt. Erſteres iſt bei den violettes Licht gebenden Wellen, letzteres bei den rothes Licht gebenden der Fall. Aber der Brechungswinkel hängt bei gleicher Incidenz von dem Verhältniſſe der Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten des Lichtes in den an einander grenzenden Mitteln ab, und zwar wird eine Lichtwelle um ſo ſtärker gebrochen, je langſamer ſie in dem brechenden Mittel fortſchreitet. Es ſind demnach die Wellen, deren Aethertheilchen eine kürzere Schwingungsdauer haben, die brechbareren. Hierin liegt der Grund der Zerlegung des weißen Lichtes durch Brechung in ſeine farbigen Beſtandtheile, und überhaupt der Zerlegung jedes nicht homogenen Lichtes. Es erklärt ſomit die Undulationstheorie die Diſperſion des Lichtes vollkommen. (*Mémoire sur la dispersion de la Lumière. Par A. L. Cauchy. Prague* 1836.)

192. Gelangt Licht an die Grenze eines doppelt brechenden Körpers, z. B. eines Doppelſpathes, und iſt der einfallende Strahl weder im Hauptſchnitte noch ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt, ſo können die Vibrationen, welche den an der Oberfläche des Körpers befindlichen Aethertheilchen mitgetheilt werden, nicht unverändert in das Innere dieſes Körpers fortſchreiten. Es vermag nämlich ein Körper dieſer Art nach einer nicht mit einer optiſchen Axe zuſammenfallenden Richtung bloß geradlinige Vibrationen, und unter dieſen bloß ſolche, die entweder in der Ebene des Hauptſchnittes oder ſenkrecht gegen dieſe Ebene Statt finden, unverändert fortzupflanzen; auch erfolgt die Fortpflanzung beider Arten von Vibrationen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten (170). Dieſe Geſchwindigkeit iſt bei einaxigen Kryſtallen für das im Hauptſchnitte polariſirte Licht (das nach Fresnel in Schwingungen ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt beſteht) nach allen Richtungen dieſelbe, oder die Wellenfläche hat eine ſphäriſche Geſtalt; für das ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirte Licht aber (das nach Fresnel in Schwingungen beſteht, deren Richtung in die Ebene des Hauptſchnittes fällt) ändert ſich die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit mit der Richtung, und die Wellenfläche iſt ein Ellipſoid, welches durch Umdrehung einer Ellipſe um eine ihrer Hauptaxen entſteht. Zerlegt man die wie immer beſchaffene (jedoch jedenfalls in einer auf die Fortpflanzungsrichtung oder den Lichtſtrahl ſenkrechten Ebene vor ſich gehende) Schwingung eines Aethertheilchens im einfallenden Strahle in zwei geradlinige Schwingungen, wovon die eine ſenkrecht gegen die Ebene des Hauptſchnittes, die andere in dieſer

Ebene erfolgt, ſo kann man den einfallenden Strahl als den Inbegriff zweier Strahlen betrachten, die einerlei Richtung und Geſchwindigkeit haben, und wovon der eine im Hauptſchnitte, der andere ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt iſt. Jeder dieſer Strahlen erzeugt in dem doppelt brechenden Mittel einen Strahl von gleichem Polariſationszuſtande, indem die Elementarwellen, die von den an der Grenzfläche erſchütterten Aetherthei lchen ausgehen, nur nach einer gewiſſen Richtung im Einklange wirken, nach anderen Richtungen aber ſich wechſelſeitig tilgen. Wegen der verſchiedenen Form dieſer Wellen für die zwei ſo eben unterſchiedenen Schwingungsweiſen, erhalten die reſultirenden zwei Strahlen verſchiedene Richtungen, die nach der in 105 — 107 vorgetragenen Conſtruction beſtimmt werden können, welche, wie nun leicht eingeſehen werden kann, eine unmittelbare Folge der bisher erklärten theoretiſchen Principien iſt. In der That wurde die von Huyghens und noch mehr die von Fresnel angegebene Form der Wellenfläche auf theoretiſchem Wege entdeckt; das Geſetz der doppelten Brechung des Lichtes in den ein- und zweiaxigen Kryſtallen, zumal letzteres, hätte aus bloßen Beobachtungen wohl nicht können aufgefunden werden. Daß die hier gegebene Theorie nicht bloß die doppelte Brechung, ſondern auch die doppelte Reflexion des Lichtes (ſ. 107 Anm.) erklärt, bedarf ebenfalls keiner weiteren Erläuterung.

Mit Rückſicht auf 175 läßt ſich auch jetzt erklären, wie es kommt, daß ein geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der in einen Doppelſpath eindringt, nur dann zwei Bilder von gleicher Lichtſtärke liefert, wenn ſeine Polariſationsebene mit dem Hauptſchnitte einen Winkel von 45° macht, und daß bei einem kleineren Winkel beider Ebenen das gewöhnliche, bei einem größeren das ungewöhnliche Bild das intenſivere iſt. Im erſten Falle ſind nämlich beide Componenten des Lichtſtrahles gleich ſtark; im zweiten hat die nach dem Hauptſchnitte, im dritten die ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirte Componente das Uebergewicht. Anders verhält es ſich mit dem unpolariſirten Lichte; da haben dieſe Componenten raſch hinter einander alle möglichen Größen, von Null angefangen bis zur Intenſität des einfallenden Strahles, und der Effect beider fällt daher gleich aus.

193. Die Erklärung der Polariſation des Lichtes durch Reflexion und Brechung in einfach brechenden Medien beruht darauf, daß die Intenſität des reflectirten und gebrochenen Lichtes nicht bloß von jener des einfallenden, vom Einfallswinkel, vom Brechungsexponenten, ſondern überdieß noch vom Polariſationszuſtande des einfallenden Lichtes abhängt, und dem gemäß einen verſchiedenen Werth annimmt, je nachdem das einfallende Licht in der Einfallsebene oder ſenkrecht darauf polariſirt iſt, und Licht von letzterer Art bei einem gewiſſen Einfallswinkel (dem Polariſationswinkel) keinen reflectirten Strahl liefert. Dieß und die Zerlegung des einfallenden Lichtes in zwei ſenkrecht gegen einander polariſirte Strahlen vorausgeſetzt, liegt der Grund der Verwandlung gemeinen Lichtes in polariſirtes durch Reflexion oder Brechung unter den gehörigen Umſtänden klar vor Augen, und iſt bereits in 123 angegeben worden. Die Theorie weiſet aber dieſe Vorausſetzungen genau nach.

Obgleich die verſchiedenen Bearbeiter der Undulationstheorie, in Hinſicht der Grundlagen zur Beſtimmung der Intenſität des reflectirten und gebrochenen Lichtes, nicht einerlei Meinung ſind, da die einen die Schwingungen des geradlinig polariſirten Lichtes ſenkrecht gegen die Polariſationsebene annehmen, während ſie nach andern in der genannten Ebene vor ſich gehen (ein Gegenſatz der Meinungen, welcher mit der Theorie in ſo weit verträglich iſt, als dieſe allgemeinere Schwingungsgeſetze darbietet, worin jene des Lichtäthers als ſpecieller Fall enthalten ſind, und daher nach Verſchiedenheit der Vorausſetzungen über die ſpecielle Natur dieſes Stoffes die eine oder die andere Schwingungsweiſe dem polariſirten Lichte zukommen muß), ſo vereinigen ſich doch alle in den Reſultaten, und finden, in ſofern die Intenſität des einfallenden Lichtes = 1, die des reflectirten durch R, die des gebrochenen durch S, der Einfallswinkel durch a, der Brechungswinkel durch b vorgeſtellt wird, für den Fall,

wenn das einfallende Licht in der Einfallsebene polariſirt iſt:

$$1)\quad R = \left(\frac{\sin(a-b)}{\sin(a+b)}\right)^2, \qquad S = \frac{\sin 2a \,.\, \sin 2b}{[\sin(a+b)]^2},$$

und wenn das einfallende Licht ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirt iſt:

$$2)\quad R = \left(\frac{\sin 2a - \sin 2b}{\sin 2a + \sin 2b}\right)^2, \quad S = \frac{4 \sin 2a \,.\, \sin 2b}{(\sin 2a + \sin 2b)^2}.$$

In beiden Fällen iſt daher $R + S = 1$. Iſt der Einfallswinkel ſo gewählt, daß der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen ſenkrecht ſteht, ſo iſt $a + b = 90°$, mithin $2a + 2b = 180°$, daher $\sin 2a = \sin 2b$. Macht nun die Polariſationsebene des einfallenden Strahles mit der Einfallsebene einen rechten Winkel, ſo gibt die erſte der Formeln 2) $R = 0$, was durch Brewſter, der dieſes Geſetz (124) zuerſt aufſtellte, mittelſt zahlreicher Verſuche beſtätiget wurde. Aehnliche Formeln haben Seebeck, Neumann, Mac Cullagh für die Intenſität des reflectirten und gebrochenen Strahles gegeben, wenn eines der an einander grenzenden Medien ein doppelt brechendes iſt. Auch die in 125 angeführten Formeln für die Drehung der Polariſationsebene bei der Reflexion und Brechung, finden in den Principien, worauf die hier gegebenen Formeln ruhen, ihre Begründung. Es liegt außerhalb der Grenzen dieſes Vortrages, die Ableitung dieſer Formeln nachzuweiſen; wir bemerken nur noch, daß, wenn es ſich um Vergleichung der Intenſitäten zweier in verſchiedenen Mitteln fortgepflanzten Lichtwellen handelt, der in 175 aufgeſtellte Begriff nicht hinreicht, ſondern das Produkt des Quadrates der Amplitude oder Schwingungsintenſität, mit der in einer Lichtwelle bewegten Aethermaſſe der Lichtintenſität proportional zu ſetzen iſt. (S. Neumann's Abhandlung: Ueber den Einfluß der Kryſtallflächen bei der Reflexion des Lichtes. Berlin 1837. Derſelbe in Pogg Ann. 40. 497; 42. 1.)

194. Die Umſtaltung geradlinig polariſirten Lichtes in circulares oder elliptiſch polariſirtes durch totale Reflexion in Fresnel's Parallelepiped oder durch Reflexion an Metallflächen, gründet ſich auf eine Verſchiedenheit in der Einwirkung, welche die an einander grenzenden Medien auf Licht, das in der Einfallsebene oder ſenkrecht gegen dieſelbe polariſirt iſt, äußern, und vermöge welcher einer der zwei Strahlen, in die das einfallende Licht zerlegt werden kann, hinſichtlich des andern, eine Verſchiebung der Undulationsphaſe erfährt; ſo daß nach der Reflexion zwei Strahlen, deren In-

tenſitäten und Phaſen verſchieden ſind, ſich interferiren, und eine elliptiſche oder circulare Schwingung erzeugen (174). Auch dieſer Vorgang, den Fresnel mit ſo ſeltenem Scharfſinne durchblickte, wurde von Cauchy aus der Theorie abgeleitet, und die Formel, worauf erſterer die Conſtruction ſeines Parallelepipeds gründete, gerechtfertiget. Der Winkel dieſes Parallelepipeds iſt ſo gewählt, daß der durch eine totale Reflexion, die den Gang des ſenkrecht gegen die Reflexionsebene polariſirten Strahles verzögert, herbeigeführte Phaſenunterſchied beider entgegengeſetzt polariſirten Strahlen $^1/_8$ Undulation ausmacht. Hiezu iſt der Einfallswinkel von 48° oder 54° nöthig. Zwei totale Reflexionen bringen daher den Phaſenunterſchied auf $^1/_4$ Undulation. Durch eine einzige totale Reflexion im Glaſe kann dieſer Unterſchied nicht ſo hoch geſteigert werden. Macht die Polariſationsebene des einfallenden Strahles mit der Reflexionsebene den Winkel von 45°, ſo haben auch die zwei componirenden Strahlen, deren einer in, der andere ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirt iſt, gleiche Intenſitäten, und ſomit ſind alle Bedingungen zur circularen Polariſation vorhanden. Bei einer anderen ſchiefen Stellung der Reflexionsebene des Parallelepipeds gegen die Polariſationsebene des einfallenden Strahles, fallen die Intenſitäten der Componenten ungleich aus, und die Schwingung wird elliptiſch. Es iſt leicht einzuſehen, daß, je nachdem die Reflexionsebene des Parallelepipeds dießſeits oder jenſeits der Polariſationsebene des einfallenden Strahles um 45° gedreht worden, die circulare Schwingung der Aethertheilchen in dem einen oder dem andern Sinne (rechts oder links) nach der Richtung der Fortpflanzung hingeſehen erfolgen müſſe, weßhalb auch rechts circular polariſirte Strahlen von links polariſirten unterſchieden werden. Eine gleiche Unterſcheidung tritt bei der elliptiſchen Polariſation ein. Auf ähnlichen Principien beruht die Modification des Lichtes durch Reflexion an Metallflächen. (S. Fresnel in Pogg. Ann. 22. 90. Neumann ebend. 26. 89. Cauchy ebend. 39. 40.)

195. Die Drehung der Polariſationsebene eines durch ein ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen in paralleler Richtung mit der Axe gehenden Lichtſtrahles (135) hat in der eigenthümlichen Beſchaffenheit des Bergkryſtalles ihren Grund, in Folge deren derſelbe längs ſeiner Axe nur circulare Schwingungen fortzupflanzen vermag, und zwar rechts und links vor ſich gehende Schwingungen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortpflanzt. Ein geradlinig polariſirter Strahl kann aus zwei entgegengeſetzt circular polariſirten Strahlen beſtehend gedacht werden, da ſich jede geradlinige Schwingung in zwei entgegengeſetzte circulare zerlegen läßt. Tritt nun ein geradlinig polariſirter Strahl in ein Bergkryſtallplättchen von der erwähnten Art, ſo ſtehen die beiden circularen Beſtandtheile desſelben bei dem Austreten in einer Phaſendifferenz; indem ſie ſich wieder zu einer geradlinigen Schwingung zuſammenſetzen, wird die Richtung dieſer eine andere ſeyn. Verſchiedene Bergkryſtall-Individuen unterſcheiden ſich dadurch, daß einige rechts circulares, andere links

circulares Licht mit größerer Geſchwindigkeit fortpflanzen. Hieraus erklärt ſich die Drehung der Polariſationsebene im entgegengeſetzten Sinne, die gleich dicke Platten aus verſchiedenen Bergkryſtall-Individuen bewerkſtelligen. Die eigenthümliche drehende Wirkung gewiſſer tropfbar flüſſiger Subſtanzen auf die Polariſationsrichtung des durch ſelbe geleiteten Lichtes muß eben ſo erklärt werden. Die verſchiedene Geſchwindigkeit des Lichtes längs der Axe des Bergkryſtalles wurde übrigens von Fresnel, dem wir obige Erklärung verdanken, durch directe Verſuche bekräftigt, indem es ihm gelang, die beiden entgegengeſetzt polariſirten Strahlen mittelſt eines aus rechts und links drehenden Prismen zuſammengeſetzten rechtwinkligen Parallelepipeds zu trennen, und ihren circularen Polariſationszuſtand nachzuweiſen. (Pogg. Ann. 21. 276.)

196. Nicht minder glücklich als in den bisher betrachteten Fällen iſt die Undulationstheorie in der Erklärung der **Farbenerſcheinungen doppelt brechender Platten** im polariſirten Lichte. Es ſey ABCD, Fig. 283, der Durchſchnitt einer ſolchen Platte, EF ein darauf fallender geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der bei ſeinem Eintritte in dieſelbe in zwei ſenkrecht gegen einander polariſirte Strahlen FG und FH geſpalten werde, welche letzteren an der Fläche DC bei G und H der Richtung des einfallenden Strahles parallel nach Gx und Hy austreten. Trifft nebſt EF ein Bündel Strahlen von derſelben Richtung die Platte, ſo iſt ein zweiter Strahl E′F′ vorhanden, der bei dem Eintritte in FG′ und F′G zerfällt, ſo daß der Strahl F′G zugleich mit FG nach der Richtung Gx die Platte verläßt. Da die zwei Strahlen, welche den Strahl Gx zuſammenſetzen, ſich im Allgemeinen wegen der Schiefe der Incidenz auf AB und wegen der ungleichen und mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten zurückgelegten Wege in verſchiedenen Schwingungsphaſen und in entgegengeſetztem Polariſationszuſtande mit einander vereinigen, ſo geht aus ihrer Interferenz eine elliptiſche Schwingung hervor, die in beſonderen Fällen circular, auch geradlinig ausfallen kann. Hiedurch erklärt es ſich, wie man mit Hilfe ſolcher Platten ſich derlei Licht zu verſchaffen vermag (133). Wird nun der Strahl Gx mittelſt eines der Unterſuchungsapparate des Polariſationsinſtrumentes analyſirt, ſo zerfällt wieder jeder der zwei Strahlen, woraus Gx beſteht, in zwei andere, deren einer in dem Hauptſchnitte oder der Reflexionsebene des analyſirenden Apparates, der andere ſenkrecht darauf polariſirt iſt. Die Wirkung des analyſirenden Apparates beſteht aber darin, die zwei in einem Sinne polariſirten dieſer Componenten von den anderen zwei zu trennen, und da die Schwingungsrichtungen jedes ſolchen Paares in dieſelbe Gerade fallen, ſo bringen die zwei Strahlen desſelben einen reſultirenden Strahl von verſchiedener Intenſität hervor, nach Maßgabe des urſprünglichen Einfallswinkels, der Dicke der Platte, der Stellung der Polariſationsebene des einfallenden Strahles gegen den Hauptſchnitt der Platte und der Lage der Hauptebene des analyſirenden Apparates, endlich der Natur des angewandten Lichtes. Iſt dieſes zuſammenge-

ſetzt, ſo erſcheinen die Beſtandtheile desſelben in einem abgeänderten Intenſitätsverhältniſſe gemengt. Die Rechnung, welche alle Umſtände der Phänomene dieſer Art bis ins kleinſte Detail zu verfolgen im Stande iſt, lehrt, daß die zwei durch den analyſirenden Apparat geſonderten Effecte, wie auch jene bei entgegengeſetzten Stellungen der Hauptebene desſelben bei Anwendung weißen Lichtes complementär gefärbt erſcheinen. Unpolariſirtes, durch eine derlei Platte geleitetes Licht gibt nach der Analyſe keine Farbenerſcheinungen, weil die auf einerlei Polariſationsebene gebrachten Componenten der Strahlen in allen möglichen Combinationen von Phaſen auftreten, in Folge der unendlich vielen, nach allen möglichen Richtungen polariſirten Strahlen, aus denen das unpolariſirte Licht beſtehend gedacht werden kann, ſo daß jeder Effect mit ſeinem complementären zuſammenfällt, und durchgehends nur gleichfarbiges Licht von einerlei Intenſität erhalten wird.

Aus dem Geſagten wird man leicht entnehmen, warum eine ſenkrecht gegen die Axe geſchnittene Platte im Polariſationsapparate Farbenringe darbietet, ſobald Strahlen unter ſehr verſchiedenen Neigungswinkeln darauf fallen; gleichen Neigungen gegen die Axe entſprechen hier nämlich gleiche Interferenzphänomene; warum die Farbenringe um ſo näher an einander gerückt erſcheinen, je größer ſie werden, denn bei ſchieferer Incidenz wird der Gangunterſchied der Strahlen größer, und variirt mit wachſender Schiefe raſcher; warum eine Doppelſpathplatte dieſer Art ein ſchwarzes oder weißes Kreuz zeigt, je nachdem die Hauptebenen des polariſirenden und analyſirenden Apparates ſich kreuzen oder zuſammenfallen, und warum die Arme dieſes Kreuzes nach dieſen Hauptebenen gerichtet ſind, denn Strahlen, die in dieſer Hauptebene vom Polariſationsapparate zur Kryſtallplatte kommen, erleiden keine doppelte Brechung, womit auch die Interferenz von den ſonſt vorhandenen zwei Strahlentheilen wegfällt u. dgl. Ja ſelbſt die Hauptformen der Erſcheinungen im circularen oder elliptiſchen Lichte laſſen ſich ohne Rechnung vorausſehen; allein zur vollſtändigen quantitativen Erörterung dieſer Phänomene iſt die mathematiſche Behandlung unerläßlich. Sie wurde für Platten einaxiger Kryſtalle ſenkrecht auf die Axe geſchnitten, von Airy in Pogg. Ann. 23. 204 ausführlich gegeben. Nach anderen Richtungen geſchnittene Platten behandelt Müller a. a. O. 33. 282; 35. 95 261. Ueber die Farbenerſcheinungen an zweiaxigen Kryſtallen ſ. Neumann in Pogg. Ann. 33. 257.

197. Berückſichtiget man bei dem in 158 betrachteten Gange des Lichtes innerhalb eines dünnen Plättchens aus einer durchſichtigen Subſtanz (vermöge deſſen ein von dem Plättchen zurückkehrender oder durch dasſelbe hindurchgehender Strahl die Vereinigung einer Folge von Strahlen iſt, die im Innern eines dünnen Plättchens eine verſchiedene Anzahl Reflexionen erlitten haben, mit dem einfach reflectirten oder gerade durchgehenden Strahle) die Phaſen und Intenſitäten der einzelnen Theile des reſultirenden Strahles, ſo erhält man Ergebniſſe der Rechnung, die mit der Erfahrung in allen Stücken auf das Beſte harmoniren, und ſonach keinen Zweifel übrig laſſen, daß dieß die richtige Erklärung des Phänomens ſey.

Um an dem einfachſten Falle der Rechnung einen Begriff von dem Gange derſelben zu geben, wollen wir zeigen, warum an der Berührungsſtelle der zwei Gläſer des N e w t o n'ſchen Apparates zur Darſtellung der Farbenringe im ſenkrecht reflectirten Lichte ein dunkler Fleck erſcheint. Es ſeyen r, ρ die Brüche, mit welchen man die Vibrationsintenſität des Lichtes multipliciren muß, um deren Werth nach einer äußeren und inneren Reflexion desſelben am Plättchen zu erhalten, und s, σ ähnliche Multiplicatoren für eine innere und äußere Brechung. Wird die Schwingungsintenſität des einfallenden Lichtes $= 1$ geſetzt, ſo findet man die Schwingungsintenſität 1) des an der äußeren Fläche des Plättchens reflectirten Strahles $= r$; 2) des Strahles, der in das Plättchen eindringt, an der Hinterfläche eine Reflexion erleidet, dann durch die Vorderfläche herausgeht $= s\rho\sigma$; 3) des Strahles der eindringt, an der Hinterfläche, dann an der Vorderfläche, wieder an der Hinterfläche reflectirt wird, und ſodann durch die Vorderfläche austritt $= s\rho\rho\rho\sigma = s\rho^3\sigma$ u ſ. w. Nennt man die Schwingungsintenſität des reſultirenden Strahles v, ſo hat man, weil in dem vorliegenden Falle die Dicke des Plättchens $= 0$ anzunehmen iſt, mithin kein Phaſenunterſchied in Folge eines Gangunterſchiedes der Strahlen Statt findet, die eine verſchiedene Strecke im Innern des Plättchens zurückzulegen hatten,

$$v = r + s\rho\sigma + s\rho^3\sigma + s\rho^5\sigma + \ldots = r + s\rho\sigma(1 + \rho^2 + \rho^4 + \ldots)$$
$$= r + \frac{s\rho\sigma}{1 - \rho^2} = \frac{r + \rho\,(s\sigma - r\rho)}{1 - \rho^2}.$$

Der Theorie zu Folge iſt bei jeder der zwei Vorſtellungsweiſen hinſichtlich der Lage der Schwingungsrichtung gegen die Polariſationsebene allgemein, für jeden Polariſationszuſtand und für jede Incidenz $\rho = -r$ und $s\sigma - r\rho = 1$. Hiedurch reducirt ſich der obige Ausdruck auf Null.

198. Da die Undulationstheorie der Lichterſcheinungen ſich lediglich auf die Geſetze der ſchwingenden Bewegung gründet, ſo iſt begreiflich, daß ihre weitere Ausbildung nicht ſowohl von neuen Erfahrungen als von den Fortſchritten der theoretiſchen Mechanik abhängt, die ihrerſeits wieder zum Theil durch jene der mathematiſchen Analyſis bedingt werden. Die raſchen Fortſchritte auf dieſem Felde in unſeren Tagen laſſen erwarten, daß auch die bis jetzt noch weniger aufgeklärten Gegenſtände bald ins Reine gebracht werden dürften. Hieher gehören insbeſondere die Erſcheinungen der Abſorption des Lichtes, warum in gewiſſen Körpern nur gewiſſe farbige Strahlen fortgepflanzt werden u. dgl., wofür auf theoretiſchem Wege bereits von W r e d e und C a u c h y Bedeutendes geleiſtet worden iſt. (S. Pogg. Ann. 33. 353; 39. 40.) Ferner der Zuſammenhang zwiſchen den Körpertheilchen und jenen des Aethers u. dgl., worüber L a m é und L l o y d Unterſuchungen angeſtellt haben.

Zu den Werken, welche eine Darſtellung der Lichttheorie geben, gehören außer dem S. 323 angeführten H e r ſ c h e l's noch *Airy's Mathematical Tracts. Cambridge* 1831. K u n z e k die Lehre vom Lichte. Lemberg 1836. Eine Zuſammenſtellung des neueren Zuſtandes der Lichtlehre gibt L l o y d's Abriß einer Geſchichte der phyſiſchen Optik, überſetzt von K l ö d e n. Berlin 1836. Die mathematiſche Theorie findet man ſehr vollſtändig und mit Berückſichtigung der neueſten Erweiterungen abgehandelt im Handbuche der Optik von R a d i c k e. Berlin 1839.

Zweiter Abſchnitt.

Wärme.

Erſtes Kapitel.

Von der Wärme überhaupt.

199. So wie das Ohr durch den Schall, das Auge durch das Licht afficirt wird, eben ſo wird das Gemeingefühl durch die Wärme angeregt. So wie wir die durch Vibrationen im Ohre erregten Empfindungen von der objectiven Urſache derſelben unterſcheiden, aber doch beide mit dem Worte Schall bezeichnen, eben ſo benennen wir ſowohl die Wärmeempfindung, als ihren objectiven Grund, mit dem Worte Wärme. Hitze iſt eine geſteigerte Wärmeempfindung, Kälte verhält ſich zur Wärme, wie Finſterniß zum Lichte. Warm erſcheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der ſie uns entreißt; darum kann uns derſelbe Körper bald warm, bald kalt erſcheinen. Taucht man die Hand in kaltes Waſſer, ſo erſcheint uns dieſes Anfangs kälter, als nach einiger Zeit; taucht man ſie in warmes, ſo finden wir auch dieſes Anfangs am wärmſten, weil uns Anfangs vom kalten Waſſer am meiſten Wärme entriſſen, vom warmen aber am meiſten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Waſſer, hierauf aber beide in laues; ſo hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der anderen für kalt. Den wahren Wärmezuſtand, d. h. die Temperatur eines Körpers erfährt man bekanntlich durch das Thermometer. Ob es einen Körper gebe oder geben könne, der gar keine Wärme enthält, deſſen Temperatur alſo dem Nullpunkte der natürlichen Thermometerſcale entſpricht, wiſſen wir nicht.

200. Bekanntlich afficirt die Wärme nicht bloß unſer Gemeingefühl, ſondern wirkt auch auf die todte Materie, vergrößert ihr Volum und ändert ihren Aggregationszuſtand; ja vielleicht iſt die Empfindung der Wärme ſelbſt nur das unmittelbare Reſultat der Ausdehnung unſerer Organe. Die Wärme läßt ſich durch keinen Körper hemmen, ſie durchdringt alles, wie die Schwere, bewegt ſich nach eigenen Geſetzen, und ſetzt ſich auch nach eigenen Geſetzen ins Gleichgewicht.

201. Ueber die Natur des Wärmeprincipes ſind nicht alle Phyſiker derſelben Meinung. Nach einigen iſt es die zum Weſen der Körper gehörige abſtoßende Kraft, nach anderen beſteht es in einer vibrirenden Bewegung des Aethers oder der kleinſten Körpertheile; eine große Anzahl der Naturforſcher ſieht es aber als einen eigenen Stoff an, den

man Wärmeſtoff (Caloricum) nennt, und mit allen jenen Eigenſchaften ausrüſtet, welche zur Erklärung der Wärmephänomene nothwendig ſind. Demnach wird der Wärmeſtoff als eine eigene, feine, ausdehnſame Flüſſigkeit charakteriſirt, welche ſich mit den Körpern verbindet, durch ihre Expanſivkraft auf ſie wirkt, aber immer nach Gleichgewicht trachtet. Wir wollen vor der Hand die Frage über die Natur des Wärmeprincipes ganz beſeitigen, und die objective Urſache aller Wärmeerſcheinungen, Wärme nennen. Die Ausdrücke: Wärmemenge, Mittheilung, Bewegung der Wärme ꝛc., deren wir uns in der Folge bedienen werden, ſind vor der Hand nur bildliche Bezeichnungen der Affection eines uns unbekannten Weſens, und werden leicht ihre eigentliche Bedeutung finden, wenn man hinreichenden Grund haben wird, ſich für eine oder die andere der vorhergehenden Hypotheſen ausſchließlich zu erklären.

Zweites Kapitel.

Geſetze der Bewegung der Wärme.

202. Schon der Umſtand, daß derſelbe Körper verſchiedene Temperaturen annimmt, beweiſet, daß die Wärme in Körpern ab- und zufließe, mithin ſich bewege. Aber die Wärme, welche die Temperatur der Körper beſtimmt, iſt mit ihnen verbunden und bewegt ſich in ihrem Inneren; doch kann ſie auch für ſich, ohne mit einem Stoffe in Verbindung zu ſeyn, exiſtiren; denn die Erfahrung lehrt, daß ſie in die Körper eindringt, ſie wieder verläßt und ſich im leeren Raume ſowohl, als durch materielle Dinge, wie das Licht, fort bewegt. Man ſtellt ſich vor, dieſe Fortpflanzung erfolge in Strahlen, wie beim Lichte, und nennt darum dieſe Wärme ſtrahlende Wärme. Eigentlich ſollte man ſie freie Wärme nennen.

203. Zur Feſtſtellung der Geſetze, nach denen ſich die ſtrahlende Wärme fortpflanzt, bedarf man beſonderer Inſtrumente, die man Differenzial-Thermometer nennt, weil ſie nicht Temperaturen überhaupt, ſondern nur Temperaturunterſchiede anzeigen. Es beſteht ein ſolches Inſtrument im Weſentlichen aus einer, zu zwei parallelen Schenkeln aufgebogenen Thermometerröhre, die an jedem Ende in eine, dem Kaliber der Röhre angemeſſene, Luft enthaltende Kugel ausgeht. Die Luft in der einen Kugel iſt von jener der anderen durch eine tropfbare Flüſſigkeit (Queckſilber oder gefärbte Schwefelſäure) getrennt. Wird die Temperatur einer Kugel geändert, ſo treibt die Luft in der wärmeren die tropfbare Säule die gleichſam den Index abgibt, vor ſich hin, bis das Gleichgewicht wieder hergeſtellt iſt, und man kann aus dem neuen Stande dieſer Säule die Wärmedifferenz der beiden Kugeln abnehmen.

Es gibt zweierlei Differenzial-Thermometer. Bei dem einen ſind die Luftvolume in den zwei Kugeln veränderlich, und es herrſcht nur bei gleichen Expanſivkräften derſelben Gleichgewicht; bei dem anderen hat die

Luft in beiden Kugeln immer nahe dasſelbe Volum, aber eine verſchiedene Expanſivkraft, und das Gleichgewicht kann nur durch den Druck einer kürzeren oder längeren tropfbaren Säule hergeſtellt werden. Ein Thermometer der erſten Art hat kurze, aufwärts gebogene Schenkel und ein langes Zwiſchenſtück; es fordert eine ziemlich weite Röhre, einen kurzen Index, und die ganze Scale fällt in das Zwiſchenſtück. Die Temperaturdifferenzen ſind den Unterſchieden der Luftvolume proportionirt. Von der Art iſt Rumford's Differenzial-Thermometer (Thermoſcop) Fig. 284. Ein Thermometer der zweiten Art hat lange Schenkel mit einem ganz kurzen Zwiſchenſtücke, die Röhre iſt enge, die Flüſſigkeit füllt einen Schenkel ganz bis in die Kugel, den anderen nur zum Theile, und die Scale fällt ganz in den längeren aufrechten. Die Differenz des Druckes dieſer zwei Säulen entſpricht dem Temperaturunterſchiede. Von dieſer Art iſt Leslie's Differenzial-Thermometer (Fig. 285). Bei letzterem iſt die Flüſſigkeit gefärbte Schwefelſäure. Nimmt man dazu eine flüchtige Flüſſigkeit, z. B. Aether, wie dieſes Schmidt und Howard gethan haben, ſo enthält die Luft noch Dünſte derſelben, und es wird im Falle der Erwärmung einer Kugel nicht bloß die Expanſivkraft der Luft und der Dünſte größer, ſondern es entſtehen von letzteren auch neue; das Inſtrument wird dadurch empfindlicher, kann allein nicht mehr, oder wenigſtens nicht auf ſo einfache Art, wie eines der vorigen graduirt werden. Zu den delicateſten Unterſuchungen über ſtrahlende Wärme braucht man gegenwärtig thermomagnetiſche Apparate, die erſt in der Folge erklärt werden können.

204. Um ſich vom Daſeyn der ſtrahlenden Wärme zu überzeugen, bringe man einen erwärmten Körper, z. B. ein Stück heißes Metall oder ein Gefäß mit heißem Waſſer in die Nähe eines Differenzial-Thermometers, und ſchütze eine Kugel desſelben vor dem heißen Körper durch einen undurchſichtigen Schirm. Da wird die freie Kugel mehr als die andere erwärmt, ſelbſt wenn ſich das Thermometer unterhalb des warmen Körpers befindet. Da Luftſtrömungen die genannte Wirkung nicht hervorbringen können, ſo muß die Wärme die Luft durchdringen, um zum Thermometer zu gelangen. Auch der Umſtand, daß eine erwärmte Thermometerkugel im luftleeren Raume viel ſchneller erkaltet, als dieſes bei der bloßen Fortpflanzung der Wärme durch das Glasrohr erfolgen könnte, beweiſet, daß die Wärme die Kugel verlaſſe und durch den leeren Raum zu dem Gefäße übergehe, worin die Leere gebildet iſt. Das ſogenannte Spucken ſtark geheizter Oefen iſt das Werk der ſtrahlenden Wärme; denn rührte dieſes von der erhitzten Luft her, ſo könnte es nicht durch einen Schirm abgehalten werden, wie es doch der Fall iſt.

205. Die ſtrahlende Wärme geht geradlinig durch den leeren Raum und durch die Luft, wird durch die Bewegung der letzteren nicht merklich geſtört, und pflanzt ſich mit einer ungemein großen Geſchwindigkeit fort, deren eigentliche Größe bisher noch gar nicht gemeſſen werden konnte, die aber jener des Lichtes nicht nachzuſtehen ſcheint. Die geradlinige Fortpflanzung der ſtrahlenden Wärme iſt daraus abzunehmen, daß eine Kugel des Differenzial-Thermometers gegen die Einwirkung eines erhitzten Körpers vollkommen geſchützt wird durch einen metallenen Schirm, der vermöge ſeiner Form und Größe nur

die geradlinig ausfahrenden Strahlen abzuhalten vermag. Die ungeheure Geſchwindigkeit, mit der die Wärmeſtrahlen die Luft durcheilen, beweiſen viele Erfahrungen: Bringt man einen erwärmten Körper in die Nähe eines empfindlichen Thermometers, ſo ſteigt dieſes augenblicklich, ja auch durch das Gefühl verräth ſich die Nähe eines ſolchen Körpers in einem Momente, ſelbſt in Fällen, wo an eine Mittheilung der Wärme durch die Luft gar nicht gedacht werden kann.

206. Die Wärmemenge, welche ein Körper in einer gegebenen Zeit ausſtrahlt, richtet ſich nach ſeiner Temperatur, Natur und oft auch nach der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche. Je höher die Temperatur eines Körpers iſt, deſto größer iſt die Intenſität ſeiner Wärmeſtrahlung. Metalle beſitzen bei übrigens gleichen Umſtänden ein kleineres Vermögen, Wärmeſtrahlen auszuſenden, als ihre Oxyde; Waſſer ein größeres als Glas, dieſes ein größeres als Papier ꝛc. Bei nicht metalliſchen Körpern hat die Glätte oder Rauhheit der Oberfläche keinen merklichen Einfluß auf eine Wärmeſtrahlung; metalliſche aber ſtrahlen deſto mehr Wärme aus, je geringer die Dichte und Härte ihrer Oberflächeſchichten iſt. Wird demnach durch Ritzen der glatten Oberfläche die dichtere Schichte weggenommen und eine mindere Dichte entblößt, ſo ſteigert man dadurch die Wärmeſtrahlung. Da die meiſten Metallbleche durch Walzen und Hämmern erzeugt werden, und demnach wirklich an den äußerſten Schichten eine größere Dichte haben, als im Innern, ſo muß jedes Bloßlegen dieſer Schichten durch Rauhmachen der Oberfläche eine Steigerung der Wärmeſtrahlung zur Folge haben (Melloni in Pogg. Ann. 45. 57). Es haben aber nicht alle von demſelben Punkte des ſtrahlenden Körpers kommenden Wärmeſtrahlen einerlei Intenſität, ſondern dieſe iſt bei dem normal ausfahrenden am größten, und nimmt ab, ſo wie der Coſinus des Ausſtrahlungswinkels wächſt. Dieſes erkennt man daraus, daß eine warme Kugel, deren Strahlen durch eine an einem Schirme angebrachte Oeffnung auf ein Thermometer gelangen, an demſelben kein ſtärkeres Steigen bewirket, als eine eben ſo warme ebene Scheibe von derſelben materiellen Beſchaffenheit und demſelben Durchmeſſer, wiewohl die Kugel bei ihrer viel größeren Oberfläche mehr Strahlen, aber darunter auch viel ſchief ausfahrende auf das Thermometer ſendet. Die aus einem Punkte ausfahrenden Wärmeſtrahlen divergiren auf ihrem Wege und nehmen an Intenſität ſo ab, wie das Quadrat ihrer Entfernung vom Ausgangspunkte wächſt. Die Strahlen ſcheinen nicht erſt von der äußerſten Fläche der Körper aus, ſich ſtrahlend zu verbreiten, ſondern aus dem Innern der Maſſe in dieſen Zuſtand zu kommen.

Den großen Einfluß der Beſchaffenheit der Natur der Körper auf die Wärmeſtrahlung beweiſet ein ſchöner Verſuch, der von Leslie herrührt: Man nehme einen hohlen Würfel von Eiſenblech, der auf einer Seite polirt, auf der zweiten mit einer Glasplatte bedeckt, auf der dritten matt geſchliffen, auf der vierten berußt iſt, und ſtelle ihn einem Hohlſpiegel gegenüber, in deſſen Brennpunkte ſich ein empfindliches Thermometer befindet. Wendet man nun die polirte Seite des Würfels gegen den Spiegel, ſo bemerkt man ein Steigen der Flüſſigkeit im

Thermometer. Iſt dieſelbe zum Stillſtehen gekommen, ſo ſteigt ſie alſogleich von Neuem, wenn man den Würfel mit der Glasſeite gegen den Spiegel kehrt. Noch beträchtlicher ſteigt ſie, wenn man die matte, und noch mehr, wenn man die ſchwarze Seite des Würfels dem Spiegel zuwendet. Auf ähnliche Weiſe hat Leslie den Einfluß der Oberfläche kennen gelehrt. Er überzog einen hohlen Würfel mit blankem Zinnbleche, und fand ſeine Wirkung auf ein im Brennpunkte eines Hohlſpiegels ſtehendes Thermometer = 12. Rițte er das Zinn der Länge nach, ſo zeigte ſich ſein Strahlungsvermögen = 19, that er dasſelbe auch nach der Quere, ſo wurde es auf 23 geſteigert, und endlich gar auf 26, als er auch Striche nach vielen anderen Richtungen gezogen hatte. — Sehr dünne Platten durchdringt Wärme immer ſehr reichlich, von welcher Natur ſie ſeyn mögen. Daß die von einem Körper ausſtrahlende Wärme wenigſtens zum Theile aus ſeinem Innern komme, davon überzeugte ſich Leslie auf folgende Art: Er überzog einen blanken Spiegel, deſſen Strahlungsvermögen er kannte, mit einer Leimſchichte von beſtimmter Dicke, und unterſuchte hierauf ſein Strahlungsvermögen, trug dann eine zweite, dritte ꝛc. Schichte auf, und nahm die Beſtimmung des Strahlungsvermögens nach jeder dieſer Operationen von Neuem vor. Die erſte Leimſchichte ſetzte das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $^1/_5$ herab, jedes folgende Auftragen einer neuen Schichte erhöhte aber dieſes Vermögen, und als der ganze Ueberzug $^2/_{100}$ Z. Dicke hatte, war das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $^4/_5$ ſeiner urſprünglichen Kraft erhöht.

207. Die Wärmeſtrahlen erfahren auf ihrem Wege faſt alle Modificationen, denen die Lichtſtrahlen unter denſelben Verhältniſſen unterworfen ſind. Trifft ein Wärmeſtrahl die Grenze zweier heterogenen Mittel, ſo dringt nur ein Theil davon ins neue Mittel ein, der andere wird regelmäßig oder zerſtreut reflectirt. Der ins neue Mittel eindringende wird in demſelben entweder ſeiner ſtrahlenden Natur beraubt (abſorbirt) oder er pflanzt ſich in demſelben ſtrahlend fort, und erfährt bei ſeinem Fortſchreiten nur eine ſucceſſive Schwächung oder theilweiſe Abſorption, bis er an der zweiten Grenze anlangt, wo er abermals eine Theilung in zwei Theile erleidet, deren einer ins Innere des Mittels zurückkehrt, und nur der Reſt verläßt dieſes Mittel wieder. Nur der abſorbirte Theil erhöht die Temperatur des Mittels. Man nennt Körper, welche die Wärmeſtrahlen ſtrahlend durchlaſſen, diathermane, ſolche, die dieſes nicht thun, athermane. Iſt das diathermane Mittel von parallelen Flächen begrenzt, ſo verläßt es ein Wärmeſtrahl in einer Richtung, welcher mit jener parallel iſt, unter welcher er darauf einfiel; ſind aber deſſen Grenzflächen nicht parallel, ſo weicht die Richtung des Strahles beim Austritte von jener beim Eintritte ab, d. h. der Wärmeſtrahl wird gebrochen. Eine aus einer diathermanen Subſtanz verfertigte Converlinſe ſammelt gehörig auffallende Wärmeſtrahlen durch Brechung in einem Punkte. Man hat ſich ſogar überzeugt, daß es für Wärmeſtrahlen unter gehörigen Umſtänden eben ſo eine totale Reflexion gebe, wie bei Lichtſtrahlen, und daß in einem Mittel, welches vermöge ſeiner Begrenzung und ſeiner Natur eine ſtarke Brechung zu erzeugen im Stande iſt, wie z. B. ein dreiſeitiges Steinſalzprisma, es auch eine Art Wärmeſpectrum gebe, und daß demnach die

von einem Körper ausfahrenden Wärmeſtrahlen auch eine verſchiedene Brechbarkeit beſitzen. Im Mittel ſcheinen Wärmeſtrahlen in demſelben Mittel, z. B. in Steinſalz minder brechbar zu ſeyn, als Lichtſtrahlen, und zwar deſto weniger, von je niederer Temperatur der ausſtrahlende Körper iſt. Die Natur der ausſtrahlenden Körper hat hierauf nur geringen Einfluß. Die Extreme der Brechbarkeit ſcheinen bei Wärmeſtrahlen weiter aus einander zu liegen, als beim Lichte. Die Möglichkeit, Wärmeſtrahlen zu polariſiren, iſt behauptet, hierauf geläugnet, und neueſtens, wie es ſcheint, zuerſt durch Forbes unwiderſprechlich bewieſen worden. Leitet man nämlich Wärmeſtrahlen durch ein Plättchen, das aus einem gelben Turmalin parallel mit der Richtung ſeiner Axe geſchnitten worden, oder unter einem beſtimmten Winkel durch eine Glimmerſäule, ſo findet man ſie polariſirt. Sogar von einer circularen Polariſation will man bereits Anzeigen erhalten haben. Alle dieſe Modificationen ſind vorzüglich von Melloni durch Anwendung eines höchſt empfindlichen thermo-elektriſchen Apparates außer allen Zweifel geſetzt worden.

208. Die Schwächung, welche Wärmeſtrahlen durch einen diathermanen Schirm erleiden, rührt theils von der Reflexion der zwei Grenzflächen des Schirmes, theils von der Abſorption in der Materie desſelben, mithin von der größeren oder geringeren Diathermanſie ſeiner Materie her. Man muß alſo den erſteren Verluſt kennen, um die Geſetze der Diathermanſie numeriſch erörtern zu können. In Bezug auf die Diathermanſie lehrt nun die Erfahrung folgende Geſetze: Ein Körper läßt deſto mehr Wärmeſtrahlen durch, je glatter und polirter ſeine Oberfläche iſt. Bei gleicher Politur läßt ein dünner Körper unter übrigens gleichen Umſtänden mehr Wärme durch, als ein dickerer, zum Beweiſe, daß die Abſorbtion im Innern desſelben ſchrittweiſe vor ſich gehe. Man ſieht es als eine erwieſene Sache an, daß die Menge der in einer beſtimmten Schichte abſorbirten Wärme der Intenſität, der darauf fallenden proportionirt ſey, und daß daher für die Wärmeſtrahlen dasſelbe Geſetz gelte, welches S. 284 für Lichtſtrahlen aufgeſtellt worden iſt. Daß ein vollkommen diathermaner Körper nicht an dieſes Geſetz gebunden ſey, verſteht ſich von ſelbſt. Von der Art iſt Steinſalz. Dieſes läßt von ſenkrecht einfallenden Wärmeſtrahlen 0.923 durch, welche Dicke die Platte auch haben mag. Beim Durchgange durch ein Syſtem von Platten von ſolcher Natur geht viel mehr Wärme verloren, als bei einer einzigen Platte, deren Dicke der Summe der Dicken aller Platten gleich iſt, und es gehen Strahlen, die bereits durch ein Plättchen gegangen ſind, viel leichter durch ein zweites derſelben Natur. Bei einem Syſteme von Platten von gleicher oder verſchiedener Natur und Dicke iſt der Effect unabhängig von der Ordnung, in welcher die einzelnen Platten auf einander folgen. Die Natur der Körper hat einen ſehr großen Einfluß auf die Menge der durchgelaſſenen Strahlen. Die Durchſichtigkeit und Farbe eines Körpers iſt von der Diathermanſie ganz unabhängig, und es gibt Körper, die für Licht in hohem Grade, für Wärme nur wenig durchgängig ſind, und umge-

kehrt, wie z. B. ſchwarzes Glas, dicker Rauchtopas, ſchwarzer Glimmer, die mehr diatherman ſind, als Waſſer, Kryſtallglas ꝛc. Alaun und Waſſer ſcheinen am wenigſten, Steinſalz und Schwefelkohlenſtoff am meiſten diatherman zu ſeyn. In unkryſtalliſirten, feſten, farbloſen Körpern und in tropfbaren Flüſſigkeiten, folgt die Diathermanſie dem Brechungsvermögen; bei kryſtalliſirten iſt dieſes nicht der Fall, doch ſind dieſe in jeder Richtung gleich diatherman. Derſelbe Körper iſt für Strahlen, die von derſelben Quelle aber bei verſchiedener Temperatur derſelben kommen, ungleich diatherman, und zwar durchdringen ihn ſolche, die von der heißeren Quelle kommen, leichter, als andere. Vorzüglich merkwürdig iſt das Verhalten diathermaner Körper für Strahlen, die von Wärmequellen verſchiedener Natur kommen. Dieſe beſitzen in der Regel eine verſchiedene Transmiſſions- oder Abſorptionsfähigkeit, ſo daß man annehmen muß, es gebe eben ſo Wärmeſtrahlen von verſchiedener Abſorptionsfähigkeit, wie es Lichtſtrahlen von verſchiedener Farbe gibt. Derſelbe Körper kann Wärmeſtrahlen verſchiedener Art ausſenden, eben ſo wie leuchtende Körper Lichtſtrahlen von verſchiedener Farbe ausſtrahlen. Geht ein heterogenes Wärmebündel durch einen diathermanen Stoff, ſo werden in demſelben jene Strahlen, für welche er atherman iſt, abſorbirt, und die ausfahrende Wärme kann dann, gereiniget von dem abſorbirbaren Antheil, einen anderen Körper derſelben Art ohne bedeutende Schwächung durchgehen.

Es falle ein einfaches Strahlenbündel von der Intenſität I ſenkrecht auf einen Körper von der Dicke m, und es werde davon an der Vorderfläche des Körpers der Antheil aI reflectirt. Es tritt alſo nur der Theil $I(1-a)$ ein, und wird in jeder Schichte des betreffenden Stoffes der Antheil μ des ganzen Bündels abſorbirt, ſo iſt der Strahl $I(1-a)$, nachdem er alle Schichten, in welche man ſich den Körper getheilt denket, und deren Anzahl m ſeyn mag, auf die Intenſität $I(1-a)(1-\mu)^m$ reducirt. Wird von dieſem beim Austritte an der Hinterfläche der Antheil a_1 zurückgeworfen, ſo hat der den Körper verlaſſende Bündel die Intenſität $I(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^m = A$. Geht das austretende Bündel, nachdem es aus der erſten Platte gekommen iſt, durch eine zweite von derſelben Natur und von der Dicke n, ſo hat es beim Austritte aus dieſem die Intenſität $A(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^n$, oder $I(1-a)^2 (1-a_1)^2 (1-\mu)^{m+n}$. Auf gleiche Weiſe erhält man für die Intenſität des Bündels, welches, ohne ſeine Natur zu ändern, durch Platten von der Dicke m, n, p, q ꝛc. gegangen iſt, den Ausdruck $I(1-a)^s (1-a_1)^s (1-\mu)^{m+n+p+q}$ ꝛc. Für Strahlen von verſchiedener Natur hat μ einen verſchiedenen Werth. Für $m=0$ erhält man $A = I(1-a)(1-a_1)$, oder wenn das Plättchen an der Vorder- und Hinterfläche an dasſelbe Mittel grenzt, $A = I(1-a)^2$. Dieſer Ausdruck gilt demnach für ein unendlich dünnes Plättchen, oder für ein ſolches, welches vollkommen diatherman iſt, und bei welchem ein auffallender Strahl nur durch die beim Ein- und Austritte Statt habenden Reflexionen geſchwächt wird, wie z. B. bei Steinſalzplättchen. Verſuche zeigen für ein ſolches Plättchen, wenn $I = 1$ iſt, $A = (1-a)^2 = 0.923$, mithin $a = 0.0393$ oder nahe $1/400$tel.

209. Die Erfahrung lehrt, daß ſich in jedem Syſteme von Körpern, die ſich gegenſeitig Wärme zuſenden können, eine bleibende

Gleichheit der Temperatur herſtelle, die Oberflächen dieſer Körper mögen wie immer beſchaffen ſeyn. Da nun diejenigen, welche ein größeres Strahlungsvermögen beſitzen, auch offenbar mehr Wärme von anderen aufnehmen müſſen, um jenes Gleichgewicht möglich zu machen; ſo muß das Abſorptionsvermögen deſto größer ſeyn, je größer das Emiſſionsvermögen iſt, und von denſelben Umſtänden abhängen, wie dieſes. Leslie hat die Gleichheit dieſer zwei Vermögen auch durch einen directen Verſuch erwieſen.

Leslie fand folgende Werthe für das Strahlungs- und Abſorptionsvermögen der nachſtehenden Körper: Lampenruß = 100; Waſſer = 100; Schreibpapier = 98; Glas = 90; Tuſchmaſſe = 88; Eis = 85; mattes Blei = 45; Queckſilber = 20; glänzendes Blei = 19; polirtes Eiſen = 15; polirtes Zinn = 15; polirtes Gold, Silber, Kupfer = 12; Graphit = 75; Menning mit Hauſenblaſe aufgetragen = 80; Crownglas = 90; Siegellack = 95; harziger Ueberzug = 95. Von der Gleichheit des Strahlungs- und Abſorptionsvermögens kann man ſich auf folgende Weiſe überzeugen: Man ſtelle in den Brennpunkt eines Hohlſpiegels die gläſerne Kugel eines Thermometers, und halte dem Spiegel gegenüber eine warme geſchwärzte Zinnplatte von beſtimmter Temperatur. Ihre Wirkung auf das Thermometer ſey = 100. Nun ſetze man an die Stelle dieſer Platte eine blanke Zinntafel von derſelben Temperatur. Ihre Wirkung mag = 12 ſeyn, ſo daß ſich das Strahlungsvermögen beider zu einander verhält, wie 100 : 12. Hierauf bringe man in den Brennpunkt des Spiegels ein Thermometer mit zinnerner Kugel und beobachte die Wirkung der geſchwärzten Fläche auf ſie. Sie ſey = 2.5. Wird nun die Wirkung derſelben Fläche auf die geſchwärzte zinnerne Kugel eines Thermometers unterſucht, ſo findet man eine Zahl, die ſich zu 2.5 ſo verhält, wie 100 : 12, in unſerem Falle 20. Eine andere Art, dieſen Verſuch anzuſtellen, lehrt Ritchie (Pogg. Ann. 28. 387).

210. Die Menge der von einem Körper reflectirten Wärme, d. h. ſein Reflexionsvermögen richtet ſich im Allgemeinen nach denſelben Geſetzen, an welche das Abſorptionsvermögen gebunden iſt, jedoch ſo, daß alles, was die Abſorption vermehrt, die Reflexion vermindert. Iſt die Fläche eines diathermanen Körpers wohl polirt, ſo reflectirt er an der Eintrittsgrenze $^1/_{400}$tel der ſenkrecht einfallenden Strahlen; bei Körpern mit rauher unpolirter Oberfläche beträgt die reflectirte Wärme mehr, weil da nebſt der regelmäßigen Reflexion auch noch eine Zerſtreuung der Wärmeſtrahlen Statt hat. Von ſchief einfallenden wird überhaupt mehr reflectirt, beſonders wenn der Einfallswinkel, von der Normalen an gerechnet, 35° überſteigt. Athermane Körper beſitzen ein bedeutend größeres Reflexionsvermögen als diathermane. Das Geſetz der Reflexion der Wärmeſtrahlen ſtimmt mit jenem der Lichtſtrahlen ganz überein; es bleibt der reflectirte Strahl in der Einfallsebene, und der Reflexionswinkel iſt dem Einfallswinkel gleich. Ein metallener Hohlſpiegel ſammelt darum die Wärmeſtrahlen, welche von einer gegenüberſtehenden Quelle ausgehen, in ſeinem Brennpunkte. Stellt man ein Thermometer mit der Kugel in den Brennpunkt desſelben, und bringt in einige Entfernung davon einen erwärmten Körper, der ſeine Strahlen auf den Spiegel ſchicken kann; ſo bemerkt man alſogleich eine Erhöhung der Temperatur im Brennpunkte, zum Beweiſe, daß ſich

dort die Wärmeſtrahlen vereinigt haben, und daß ſie daher vom Spiegel nach dem angeführten Geſetze zurückgeworfen worden ſeyen. Stellt man zwei ſolche Spiegel gegen einander (Fig. 286), und bringt in den Brennpunkt des einen den erwärmten Körper, in den des anderen eine Kugel des Thermometers; ſo wird auch da eine Temperaturerhöhung wahrgenommen, welches nur durch Reflexion der Wärme in beiden Spiegeln erklärt werden kann. Weil ſich die Wärmeſtrahlen in demſelben Brennpunkte der Hohlſpiegel vereinigen, in welchem die Lichtſtrahlen ſich ſchneiden; ſo muß auch für erſtere der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ſeyn.

211. Das Verhältniß des Strahlungsvermögens eines Körpers zu ſeinem Abſorptions- und Reflexionsvermögen und der Einfluß der Oberfläche der Körper auf dasſelbe ſind in practiſcher und theoretiſcher Hinſicht gleich wichtig. Sie geben uns den nützlichen Wink, Körper, welche die Wärme zurückhalten ſollen, wie z. B. Dampfzylinder, Wärmeleitungsröhren, Feuerſchirme ꝛc. mit polirter, am beſten metalliſcher Oberfläche zu verſehen. Es beruht auf dieſem Grundſatze auch der Gebrauch eines Differenzial-Thermometers, wovon eine Kugel verſilbert iſt, als Pyroſkop, d. i. als Meßinſtrument für die ſtrahlende Wärme. Weil nämlich die Wärmeſtrahlen von der metalliſchen Oberfläche eines ſo adjuſtirten Differenzial-Thermometers reflectirt werden, während ſie auf die unbedeckte Kugel frei einwirken und die Flüſſigkeit im Inſtrumente in Bewegung ſetzen; ſo wird man aus der Bewegung der Flüſſigkeit in dieſem Inſtrumente auf die dasſelbe treffenden Wärmeſtrahlen ſchließen können.

Aus den vorhergehendeu Grundſätzen erklären ſich viele Erſcheinungen, z. B. der Nutzen der ſchwarzen Farbe der Menſchen im heißen Klima und die wohlthätige Einrichtung der Natur, daß ſich bei großer Hitze auf ihrer Haut eine glänzende Flüſſigkeit ausſcheidet; warum Flüſſigkeiten in alten (berußten), am Feuer ſtehenden Töpfen früher (nach Fox $6^1/_2$ mal früher) kochen, als in neuen; die wohlthätige Einrichtung, daß die aufwärts gekehrte Seite der Blätter bei Pflanzen meiſtens glänzender, als die der Erde zugewendete iſt; die erquickende Kühle im Freien, zur Zeit, wo es in Städten erſtickend heiß iſt; die geringe Abkühlung der Luft in Städten während der Nacht und viele andere Erſcheinungen, welche in die Meteorologie gehören. Auch die oben erwähnte Spaltung eines Wärmeſtrahles beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes, iſt unzähliger Anwendungen fähig. Auf ihr beruht der Nutzen der Doppelfenſter, Doppelthüren, der weiten Kleider, die ſchlechte Leitungsfähigkeit der Pelzwerke, Federn, des Schnees ꝛc., bei denen ein Wärmeſtrahl unzählige Reflexionen erleidet.

212. Körper ſenden unter allen Umſtänden, ſelbſt bei der geringſten Temperatur und auch in einem Mittel, welches wärmer iſt, als ſie ſelbſt, Wärmeſtrahlen aus, und es beſteht daher zwiſchen einem Syſteme von Körpern bei jeder Temperatur ein beſtändiger Wärmeaustauſch. Der wärmere, ſo wie der kältere, ſtrahlet Wärme aus und empfängt dafür andere von ſeiner Umgebung, und das Gleichgewicht beſteht nur in einer Gleichheit des Empfangs und der Abgabe, der Emiſſion und Abſorption. Es heißt darum auch bewegliches

Gleichgewicht. Auf dieſer Wechſelwirkung der Körper beruht die ſcheinbare Reflexion der Kälte mittelſt Hohlſpiegel. Ueber ſtrahlende Wärme ſiehe vorzüglich Biot in Pogg. Ann. 38. 1; 39. 250; 436 und 544. Melloni ebend. 39. 1; 45. 57. Forbes ebend. 45. 64. 442.

213. Die Wärme, welche in das Innere eines Körpers eingedrungen iſt, ſucht ſich darin ſo zu vertheilen, daß alle Punkte dieſelbe Temperatur erlangen. Die Geſchwindigkeit, womit ſich die Wärme im Inneren eines Körpers fortpflanzt, iſt der Maßſtab für die innere Leitungsfähigkeit desſelben, und man nennt denjenigen einen beſſeren Leiter, deſſen innere Leitungsfähigkeit größer iſt. Ueberhaupt pflegt man einen Körper, deſſen Leitungsfähigkeit gering iſt, einen ſchlechten, und einen ſolchen, deſſen Leitungsfähigkeit groß iſt, einen guten Leiter der Wärme zu nennen. Erſtere heißen auch oft, wiewohl unrichtig, Nichtleiter. Man ſieht zugleich, daß die äußere (oberflächliche) Leitungsfähigkeit eines Körpers von ſeiner inneren wohl unterſchieden werden müſſe.

214. Die innere Fortpflanzung der Wärme wird durch den Aggregationszuſtand der Körper modificirt. In feſten Körpern geht die Wärme von einem Theilchen, welches unmittelbar von der Wärmequelle erwärmt wurde, in das zunächſt daran grenzende, von dieſem in das folgende u. ſ. w., bis ſie im ganzen Körper ins Gleichgewicht gekommen iſt. Verſuche über die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wärme in feſten Körpern fordern ungemeine Vorſichten und eine ſehr große Genauigkeit; ein Umſtand, der macht, daß man noch keineswegs die verſchiedenen Körper nach ihrer Leitungsfähigkeit im angegebenen Sinne zu ordnen im Stande iſt.

Franklin und Inghenhouß unterſuchten die Erwärmungsgeſchwindigkeit der Metalle, indem ſie gleich dicke und gleich lange Metalldrähte, wie die Zähne eine Kammes, an ein Holzſtück befeſtigten, ſie gleichförmig mit Wachs überzogen, dann ſenkrecht mit dem freien Ende in heißes Leinöhl tauchten und aus der Höhe, bis zu welcher das Wachs in derſelben Zeit an verſchiedenen Metallen ſchmolz, auf ihre Leitungsfähigkeit ſchloſſen. Anders verfuhr Despretz. Er gab den zu unterſuchenden Körpern die Geſtalt gleicher Prismen, überzog ihre Oberfläche mit einer Schichte eines ſchwarzen Firniſſes, um ihnen ein gleiches Strahlungsvermögen zu ertheilen, verſah ſie an verſchiedenen Punkten mit Löchern, die bis in die Mitte der Maſſe reichten, ſtellte Thermometer darein, füllte die Zwiſchenräume mit Queckſilber oder Oehl aus, und erwärmte ſie mittelſt Lampen, die ſo angebracht waren, daß das der Wärmequelle nächſte Thermometer eine beſtimmte Temperatur angab. Wurde nun der Wärmegrad beobachtet, den jedes Thermometer, wenn es einen ſtationären Stand erreicht hatte, zeigte; ſo konnte man daraus und aus der Temperatur der Luft die Verhältniſſe der Leitungsfähigkeit berechnen. Man kann die Folge von Metallſtücken in Betreff ihrer Wärmeleitung ſchon durch die bloße Empfindung beſtimmen, wenn man ſie mit einem Ende einer beſtimmten Wärmequelle ausſetzt, und das andere Ende mit der Hand berührt. (Pogg. Ann. 19. 507.)

Auf obige Weiſe fanden Franklin und Inghenhouß, daß Metalle, vom beſten Leiter angefangen, ſo auf einander folgen: Silber,

Kupfer, Gold, Zinn, Eiſen, Stahl, Blei. Nach Fiſcher iſt die durch ſeine Verſuche beſtimmte Ordnung der Metalle folgende: Silber, Kupfer, Gold (nicht ganz rein), Palladium, Platin. Despretz fand das Leitungsvermögen folgender Körper von der ihnen beigeſetzten Größe: Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898.2, Eiſen 374.3, Zink 368.0, Zinn 303.9, Blei 179.6, Marmor 23.6, Porcellan 12.2. Muncke's Verſuchen zu Folge, nimmt die Leitungsfähigkeit ab, wenn die Temperatur ſteigt. Nach ihm iſt bei mittleren Temperaturen die Leitungsfähigkeit des Glaſes = 1 geſetzt, die des Holzes = 0.6756, jene des gebrannten Thones = 0.9334 Es bedarf keiner künſtlich angeſtellten Verſuche, um ſich zu überzeugen, daß die Metalle zu den beſſeren, die Erdarten, Glas, Aſche, Kohle, Holz, Wolle, Seide ꝛc. zu den ſchlechteren Leitern gehören. Uebrigens iſt es ſehr wahrſcheinlich, daß die innere Fortpflanzung der Wärme auch durch Strahlung vor ſich gehe, und daß eine Maſſe im Inneren deſto beſſer leite, je homogener ſie iſt, und je weniger ſie von Zwiſchenräumen unterbrochen wird Aus der verſchiedenen Leitungsfähigkeit feſter Körper erklärt man mit Leichtigkeit das Warmhalten unſerer Kleider; warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Froſt geſichert werden; warum hölzerne Stuben wärmer ſind, als gemauerte; warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen verſieht; warum man auf hölzernen Böden wärmer ſteht, als auf ſteinernen; warum Reiter durch die Steigbügel im Winter ſo viel Kälte zu leiden haben; warum man im Winter wohl Holz, aber nicht Eiſen oder ein anderes Metall mit der Zunge ungeſtraft berühren darf. Hierauf beruhet auch die zweckmäßige Einrichtung unſerer Oefen und Kochgefäße nach Rumford's Angabe. (Deſſen ſchöne Verſuche ſind in Gilb. Ann. Bd. 4, und in ſeinen kleinen Schriften, Weimar 1805, zu finden.)

215. Bei tropfbar flüſſigen Körpern iſt die Fortpflanzung der Wärme verſchieden, je nachdem die Erwärmung von oben oder von unten Statt findet. Wird die Erwärmung von oben veranſtaltet, ſo geht die Fortpflanzung der Wärme in ihnen ſo vor ſich, wie in feſten Körpern, und da bewähren ſich tropfbare Flüſſigkeiten durchaus als ſchlechte Wärmeleiter; geſchieht aber die Erwärmung von unten, ſo ſteigen die bereits erwärmten Theile wegen ihres kleineren ſpecifiſchen Gewichtes in die Höhe und machen kälteren Platz. Es entſteht daher eine Strömung in der Flüſſigkeit, welche die Erwärmung bedeutend beſchleunigt. Man kann ſie ſichtbar darſtellen, wenn man, nach Rumford's Anleitung, fein zertheilten Bernſtein in Waſſer gibt uud dieſes dann erwärmt; da ſieht man die Bernſteinſtücke im Inneren der Maſſe aufwärts, in der Nähe der Wände aber abwärts ziehen.

216. Bei ausdehnſamen Flüſſigkeiten iſt die unmittelbare Mittheilung der Wärme zwar nicht factiſch nachgewieſen, kann aber der Analogie nach vorausgeſetzt werden. Die Fortpflanzung der Wärme durch das Aufſteigen der erwärmten Theile iſt aber hier in einem noch ſtärkeren Grade, als bei tropfbaren Flüſſigkeiten vorhanden.

Die Fortpflanzung der Wärme durch Strömungen lehrt, daß Flüſſigkeiten am beſten und am leichteſten erwärmt werden, wenn man die Wärme von unten auf ſie wirken läßt; aus ihr erklärt ſich die langſame Erwärmung hoher, auf die gewöhnliche Weiſe geheizter Zimmer, und die Ungleichheit der Temperatur an der Decke und am Fußboden. Eben darauf beruht auch die ſogenannte Luftheizung, mit deren Ver-

vollkommnung ſich beſonders Meißner befaßt hat. Nach dieſer Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgeſondertes, kleines, geſchloſſenes Gemach (Heizkammer) ſtellen, und die daſelbſt befindliche, ſtark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl ſich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4—5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Oeffnung leiten, die kalte aber, durch einen ähnlichen Canal, der ſich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen; man erſpart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft ſo läſtigen ſtrahlenden Wärme, kann die Wärme der Zimmer durch Schließen und Oeffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und ſoll auch Brennmateriale erſparen. Das zweite Verfahren beſteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen abſteht. So wie die Luft in dem Zwiſchenraume erwärmt iſt, ſteigt ſie in die Höhe, die kältere folgt von unten nach, und man kann ſo mit einem einzigen Ofen ein ſehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

217. Zu den Bewegungsgeſetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Verſuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln wahrgenommen hat. Solche Verſuche haben mehrere angeſtellt, darunter müſſen aber die von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit beſonders hervorgehoben werden. Bei Rumford's Verſuchen wurde nicht unterſchieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe; man brachte ihn in ein großes Zimmer von bekannter und beſtändiger Temperatur, beſtimmte an einem damit in Verbindnug ſtehenden Thermometer die Temperatur nach gewiſſen Zwiſchenzeiten, und nahm daraus das Geſetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Verſuchen wurden aber ſowohl die Geſetze des Wärmeverluſtes durch Strahlung, als auch die des Verluſtes durch Mittheilung beſonders beſtimmt. Um mit aller möglichen Genauigkeit zu verfahren, wurde durch vorläufige Verſuche ausgemittelt, daß eine Flüſſigkeit, wie z. B. Queckſilber, in einem Gefäße von einerlei Subſtanz eingeſchloſſen, das Grundgeſetz der Erkaltung in ſeiner vollen Reinheit und Einfachheit darſtelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2—7 Centimeter Durchmeſſer), oder der Geſtalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) geſtört zu werden. Bei dem eigentlichen Verſuche wurde ein Queckſilberthermometer bis zu einer beſtimmten Temperatur erwärmt, und hierauf ſchnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geſchwärzt war und ſich in einem Waſſerbade von bekannter Temperatur befand. Um die Geſetze der Erkältung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichſt verdünnt und ſelbſt der Reſt derſelben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingeſetzt, ſo daß ſeine Kugel des Ballons Mittelpunkt einnahm, und endlich der Stand des Thermometers nach gleichen Zwiſchenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit

gab die Abkühlungsgeſchwindigkeit an. Auf gleiche Weiſe wurde auch verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterſchiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war, und daß man von der geſammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelſt ſolcher Verſuche fand man folgende Reſultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich ſchnell, ſelbſt wenn ſie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht deſto ſchneller vor ſich, je größer der Temperaturunterſchied zwiſchen dem erkaltenden Körper und ſeines Mittels iſt; doch ſtehen die Erkaltungsgeſchwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältniſſe mit den Temperaturunterſchieden, nähern ſich aber dieſem Verhältniſſe deſto mehr, je geringer der genannte Unterſchied iſt. 3) Im leeren Raume von beſtändiger Temperatur läßt ſich die Erkaltungsgeſchwindigkeit durch die Formel $M(a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwiſchen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beſtändige Größen ſind, von denen $a = 1.0077$ iſt. Die Erkaltungsgeſchwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometriſchen Progreſſion, vermindert um eine beſtändige Größe, während die Temperaturüberſchüſſe eine arithmetiſche Reihe darſtellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für ſich, abgeſehen von der Ausſtrahlung, bewirkt, iſt völlig unabhängig von der Beſchaffenheit der Oberfläche der Körper, und hängt bloß von der Temperaturdifferenz zwiſchen dem Gaſe und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gaſes ab. Dieſe Erkaltungsgeſchwindigkeit läßt ſich durch die Formel mt^b ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz, $b = 1.233$ bedeutet, m aber eine Größe iſt, welche von der Natur des Gaſes und von den Dimenſionen des erkaltenden Körpers abhängt. Sie ändert ſich daher in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Temperaturüberſchüſſe auch eine geometriſche bilden. Die geſammte Abkühlung wird demnach durch $M(a^t - 1) + mt^b$ ausgedrückt.

218. Nach den erwähnten Erkaltungs- und Erwärmungsgeſetzen geht auch die Fortpflanzung der Wärme im Inneren der Körper vor ſich, weil dazu nur nothwendig iſt, daß ein Theil eines ſolchen Körpers wärmer iſt als ein anderer. Wird z. B. eine Metallſtange mit einem Ende in eine Wärmequelle gebracht, ſo bekommen nur die äußerſten Theile dieſes Endes die Wärme unmittelbar von der Wärmequelle. Sobald aber ein Theilchen der Materie nur im Mindeſten mehr als das nächſte daran grenzende erwärmt iſt, muß es dieſem Wärme mittheilen, von dieſem Theilchen bekommt ſie wieder ſein benachbartes u. ſ. f., und ſo erhält jeder materielle Punkt der Stange von dem vorhergehenden Wärme, und gibt ſie an den nachfolgenden ab, wirkt aber auch auf die in einiger Entfernung befindlichen Punkte vor und hinter ſich ſo, daß die Fortpflanzung im Inneren als eine wahre Strahlung von Punkt zu Punkt angeſehen werden muß. Die Größe des Wärmezuwachſes eines Punktes iſt demnach die Differenz der empfangenen und abgegebenen Wärme, und die Größe der Erwärmung hängt von dieſer und der Em-

pfänglichkeit des Körpers für die Wärme ab. Man kann ohne den geringſten Fehler annehmen, daß dieſe Erkaltung und Erwärmung eines Theilchens durch das daran grenzende nach dem Newton'ſchen Geſetze vor ſich gehe, und daher dem Wärmeunterſchiede proportionirt ſey. Während die gegenſeitige Erwärmung und Erkaltung im Inneren der Maſſe vor ſich geht, erfolgt auch ein Wärmeverluſt an der Oberfläche, theils durch unmittelbare Mittheilung an die Umgebung, theils durch Ausſtrahlen. Da dieſer Verluſt mit der Temperatur wächſt, ſo ſieht man leicht ein, daß die Temperatur obiger Stange im Allgemeinen nur ſo lange zunehmen kann, bis der Wärmezufluß dem Wärmeverluſte gleich kommt. Sobald dieſes Statt findet, muß die Temperatur der Stange ſtationär ſeyn.

Man kann die Vertheilung der Wärme in einem Körper durch Verſuche beſtimmen und ſich überzeugen, daß die Temperatur von der unmittelbar erhitzten Stelle an gegen das fernere Ende abnimmt, und zwar ſind die Temperaturen Glieder einer geometriſchen Reihe, wenn die Entfernungen der erwärmten Stellen von der Wärmequelle Glieder einer arithmetiſchen Reihe ſind. Dieſes Geſetz hat Biot durch einen directen Verſuch beſtätiget, indem er an mehreren Stellen einer Eiſenſtange Thermometer anbrachte, deren Kugeln in die Stange eingeſetzt waren, und ihre Temperatur, nachdem ſie conſtant geworden war, beobachtete.

Drittes Kapitel.

Geſetze des Gleichgewichtes der Wärme.

219. Die Wärme eines Körpers, deſſen Temperatur weder im Wachſen noch im Abnehmen begriffen iſt, muß ſowohl mit der Wärme der Umgebung, als auch mit den Kräften, welche den kleinſten Theilen des Körpers eigen ſind, im Gleichgewichte ſtehen. Das erſtere Gleichgewicht wird Statt finden, wenn der Körper eben ſo viel Wärme ausſendet, als er von der Umgebung bekommt, das letztere, wenn die Theile desſelben in eine ſolche Entfernung von einander gebracht ſind, daß die Kraft, welche die Annäherung der Theile beſtimmt, der abſtoßenden Kraft der Wärme gleich und entgegengeſetzt iſt. Daher muß hier von der Wärmemenge in Körpern und von den Wirkungen der Wärme auf Körper die Rede ſeyn.

A. Capacität und ſpecifiſche Wärme.

220. Zwei heterogene Körper von einerlei Temperatur und gleich viel Maſſe enthalten doch nicht gleich viel Wärme in ſich, ſondern es braucht jeder Körper zu einer beſtimmten Temperatur eine gewiſſe, von ſeiner Natur und ſeiner Maſſe abhängige Wärmemenge. Die Wärmemenge, welche ein Körper von der Maſſe = 1 braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. anzunehmen, heißt ſeine ſpecifiſche Wärme, und das Vermögen, die ſpecifiſche Wärme aufzunehmen, ſeine Capacität für die Wärme. Wenn man die ſpecifiſche Wärme

der Körper durch Zahlen ausdrücken will, ſo muß man erſt darüber übereingekommen ſeyn, was man als Einheit der Wärmemenge annimmt. Als ſolche wird jene Wärmemenge angenommen, welche eine Maſſeneinheit Eis von 0° C. braucht, um in Waſſer von derſelben Temperatur überzugehen. Demnach iſt die Wärmemenge 2, 3, 10 ꝛc. diejenige, welche 2, 3, 10 Maſſeneinheiten Eis von 0° C. in Waſſer von 0° C. verwandelt. Die Capacität iſt der ſpecifiſchen Wärme proportionirt. Gewöhnlich nimmt man die Capacität des reinen Waſſers als Einheit an, und mißt die der übrigen Körper nach dieſer Einheit. Es hat daher ein Körper die Capacität 2, 3 ꝛc., wenn ſeine ſpecifiſche Wärme 2, 3 ꝛc. mal größer iſt, als die des Waſſers. Heißt die Capacität eines Körpers C, ſeine ſpecifiſche Wärme S, und σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers; ſo hat man $S:\sigma = C:1$, mithin $S = C\sigma$. Die Folge wird lehren, daß $\sigma = \frac{1}{75}$ iſt.

221. Die Capacität der Körper für die Wärme läßt ſich durch mehrere Mittel beſtimmen. Eines der einfachſten beſteht darin, daß man den Körper, um deſſen Capacität es ſich handelt, bis zu einem beſtimmten Grade erhitzt, ihn hierauf in eine beſtimmte Menge Waſſer oder in eine andere Flüſſigkeit von bekannter Temperatur ſenkt, und die gemeinſchaftliche Temperatur des Gemenges beſtimmt, wenn das Gleichgewicht der Wärme hergeſtellt iſt. Es iſt klar, daß der Körper, deſſen Capacität auf dieſem Wege erforſcht werden ſoll, nicht in der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich ſeyn ſolle. Auch darf man nicht vergeſſen, daß dieſes Verfahren nur in ſoferne richtig iſt, als ſich die Capacität der Flüſſigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit iſt dieſes nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß iſt; darum darf auch die Temperaturdifferenz beider Körper nicht bedeutend ſeyn, und man kann durch Anwendung größerer Maſſen es dahin bringen, daß man es auch bei kleinen Temperaturunterſchieden mit großen Wärmemengen zu thun hat. Ueberdieß muß man auf den Wärmeverluſt durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Verſuches Rückſicht nehmen.

Es werde Waſſer von 0° C. mit einer gleich großen Maſſe Eiſenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Es bringt demnach die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eiſens um $36 - 4 = 32°$ erhöbt, im Waſſer nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und jenes braucht daher achtmal weniger Wärme als Waſſer, um dieſelbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder ſeine Capacität iſt $\frac{1}{8} = 0.125$. Wenn die Maſſen der zwei zu mengenden Körper ungleich ſind, wird man auch nicht ſo leicht durch bloßes Raiſonnement zum Ziele gelangen, ſondern man muß zu dieſem Ende eine eigene Rechnung führen. Hat der wärmere Körper die Maſſe M, die Capacität C, und vor dem Verſuche die Temperatur T, der kältere die Maſſe m, die Capacität c, und vor dem Verſuche die Temperatur t, iſt ferner die ſtationäre Temperatur des Gemenges nach dem Verſuche τ und die ſpecifiſche Wärme des Waſſers σ; ſo hat der erſtere die Wärmemenge $MC(T-\tau)\sigma$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc(\tau - t)\sigma$ gewonnen, und es iſt

$$MC\sigma(T-\tau) = mc\sigma(\tau - t) \text{ oder } \frac{C}{c} = \frac{m(\tau - t)}{M(T-\tau)}.$$

Auf dieſem Wege kann man auch den Werth von σ finden. Man menge eine Quantität Eis = m von der Temperatur 0° C., und eine Waſſermenge M von der Temperatur T, die hinreicht, alles Eis zu ſchmelzen, und bemerke die Temperatur t der Miſchung. Eine Maſſeneinheit Eis braucht zum Schmelzen die Wärmemenge 1, mithin die Eismaſſe m die Wärmemenge m, dem daraus entſtandenen Waſſer iſt hier die Wärmemenge m t σ zugewachſen, und das urſprünglich vorhandene Waſſer hat die Wärmemenge M (T — t) σ verloren. Dieß gibt die Gleichung

$$m + mt\sigma = M\,(T - t)\,\sigma, \text{ woraus } \sigma = \frac{m}{M\,(T - t) - mt}$$

folgt. Der wirkliche Verſuch gibt $\sigma = \frac{1}{75}$.

222. Ein anderes Mittel, die Capacität zu beſtimmen, beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſchneller bis zur Temperatur ſeines Mittels abkühlt, je kleiner ſeine Capacität iſt. Um durch dieſes Mittel zu einem richtigen Reſultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es ſich handelt, mit gleicher Oberfläche verſehen, und zu dieſem Ende jeden derſelben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuſe einſchließen, bis zu einem beſtimmten Grade erwärmen und dann die Zeit beſtimmen, die er braucht, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen. Dieſe Zeit ſteht im geraden Verhältniſſe mit ſeiner Capacität. Dieſes Verfahren hat J. T. Mayer kennen gelehrt, und Dulong und Petit haben es mit Vortheil angewendet.

223. Ein drittes Mittel beruht auf der Beſtimmung der Eismenge, die ein Körper zu ſchmelzen vermag. Man braucht zu ſeiner practiſchen Ausführung ein eigenes Inſtrument, welches Laplace und Lavoiſier angegeben, und Calorimeter genannt haben. Dieſes beſteht aus zwei Gefäßen (Fig. 287), wovon eines in dem anderen ſteckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu unterſuchenden Körpers A und des zu ſchmelzenden Eiſes, während das äußere C bloß zum Behälter desjenigen Eiſes beſtimmt iſt, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten ſoll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verſchloſſen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt iſt; es dient zur Aufnahme des Waſſers, das aus dem inneren Eiſe entſteht. Beim Gebrauche wird zuerſt der Zwiſchenraum zwiſchen beiden Gefäßen mit klein zerſtoßenem Eiſe von 0° C. angefüllt, und auch das Innere faſt ganz damit verſehen. Hierauf kommt der Körper A hinein, und zwar, wenn er feſt iſt, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar iſt, in eine eigens dazu beſtimmte Büchſe; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel aufgeſetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eiſe entſtandene Waſſermenge genau beſtimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Iſt C die Capacität des Körpers, mit dem man den Verſuch anſtellt, T ſeine anfängliche Temperatur und M ſeine Maſſe, σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers, ſo iſt M T C σ ſeine Wärmemenge. Wird eine Eismaſſe = N Eis von 0° C. geſchmolzen, ſo iſt die Zahl N zugleich die dazu nöthig geweſene Wärmemenge, und man hat demnach

$$MTC\sigma = N, \text{ und hieraus } C = \frac{N}{MT\sigma}.$$

Iſt die zu unterſuchende Maſſe tropfbar, ſo muß man auch die Maſſe m des Gefäßes, welches man beim Verſuche braucht, ſeine anfängliche Temperatur t und ſeine Capacität c vorläufig kennen. Heißt in dieſem Falle N' die geſchmolzene Waſſermenge, ſo hat man offenbar

$$\sigma\,(MCT + mct) = N', \text{ und daher } C = \frac{N' - mct\sigma}{MT\sigma}.$$

Dieß Verfahren kann auch zur Beſtimmung des Werthes von σ dienen, wenn man Waſſer als den zu unterſuchenden Körper anwendet. Hiebei iſt

$$C = 1, \text{ mithin } \sigma = \frac{N'}{MT + mct}.$$

224. Keines der angeführten Mittel läßt ſich, in der Weiſe angewendet, wie hier geſagt wurde, zur Beſtimmung der Capacität der Gaſe brauchen, weil man wegen ihrer zu geringen Dichte ein zu großes Volum derſelben anwenden müßte, um ein nur mäßig genaues Reſultat zu erhalten. Die Abkühlungsmethode (222) iſt für ſolche Körper überhaupt unanwendbar, weil auf ihre Abkühlungszeit die größere oder kleinere Beweglichkeit ihrer Theile einen bedeutenden Einfluß ausübt, und auch die Gefäße einen zu großen Theil ihrer Wärme aufnehmen; aber die Miſchungsmethode läßt ſich ſo modificiren, daß man durch ſie der Wahrheit ſehr nahe kommen kann, und zwar auf folgende Weiſe: Man leite das Gas, nachdem man es in einem mit kochendem Waſſer umgebenen Gefäße auf 100° C. gebracht hat, in einem gleichförmigen, langſamen Strome in ein Rohr, welches in ſchlangenförmigen Windungen durch ein mit Waſſer von beſtimmter Temperatur gefülltes, geſchloſſenes Gefäß geht, laſſe das Gas durch das andere Ende der Röhre wieder entweichen, und beobachte die Temperatur des Waſſers, nachdem ſie ſtationär geworden iſt. Da in letzterem Zuſtande dem Waſſer vom Gaſe gerade ſo viel Wärme zugeführt wird, als es an die Umgebung abgibt; ſo werden offenbar die Erhöhungen der Temperatur, welche das Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden durch verſchiedene Gaſe erhalten hat, den Capacitäten dieſer Gaſe proportionirt ſeyn. Setzt man nun die Capacität eines Gaſes = 1, wie man dieſes mit der atmoſphäriſchen Luft zu thun pflegt; ſo erhält man leicht die Capacitäten der übrigen Gaſe nach dieſer Einheit. Dieſe Methode kann man auch zur Beſtimmung der Capacität der Dünſte anwenden, nur muß man dem zu erwärmenden Waſſer ſchon vorläufig eine Temperatur ertheilen, die nicht geringer iſt, als diejenige, bei welcher ſich die Dünſte gebildet haben, damit dieſe nicht in den tropfbaren Zuſtand überzugehen gezwungen werden.

225. Um die Capacität der Gaſe in Bezug auf die des Waſſers zu finden, ſucht man die Erwärmung, welche eine beſtimmte Menge atmoſphäriſcher Luft, die man ſucceſſiv durch eine der vorigen ähnliche Röhre leitet, im Waſſer hervorbringt, und berechnet daraus das Verhältniß der Capacitäten des Waſſers und der atmoſphäriſchen Luft.

Alle dieſe Capacitäten beziehen ſich auf die Maſſe = 1; wollte man ſie auf das Volum = 1 reduciren, und daher die Zahlen, welche die Capacitäten ausdrücken, ſo abändern, daß ſie der Wärmemenge proportionirt ſind, welche man braucht, um die Temperatur einer Volumseinheit eines Körpers um 1° C. zu erhöhen; ſo dürfte man obige Größen nur mit der Dichte der entſprechenden Körper multipliciren.

226. Bei allen aufgezählten Unterſuchungsmethoden ſteht der betreffende Körper unter einem conſtanten Drucke; er zieht ſich daher während des Verſuches durch Erkältung zuſammen, und dehnt ſich durch Erwärmung aus, und man erfährt ſeine Capacität unter einem beſtändigem Drucke und unter veränderlichem Volum Man kann die Unterſuchung bei verſchiedener Größe dieſes Druckes anſtellen, von verſchiedenen Temperaturen der zu unterſuchenden Körper ausgehen und ſehen, wie die Capacitäten der Körper unter ſo verſchiedenen Umſtänden ausfallen. Aber damit iſt nicht alles geſchehen, ſondern man muß auch die Capacitäten der Körper kennen lernen, wenn ſich ihr Volum während des Verſuches nicht ändert, d. h. die Capacitäten unter beſtändigem Volum und veränderlichem Drucke. Dieſe kann man, wenigſtens vor der Hand, noch nicht unmittelbar finden.

Für Gaſe gelangt man auf folgendem Wege zum Ziele: Es hängt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in einem Gaſe von dem Verhältniſſe ſeiner Expanſivkraft zur Dichte, und von der bei der Compreſſion der Gasſchichten in der verdichteten Welle eintretenden Wärmeentwicklung, letztere aber von dem Verhältniſſe der Capacität unter beſtändigem Drucke zu der unter beſtändigem Volum ab. Berechnet man demnach die Schallgeſchwindigkeit in dieſem Gaſe aus der Tonhöhe einer Gasſäule von beſtimmter Länge, und hierauf ohne Rückſicht auf den Wärmeeinfluß nach der Newton'ſchen Formel (I. 324); ſo gibt das Quadrat des Quotienten, den man durch Diviſion der erſteren Geſchwindigkeit durch die letztere erhält, das Verhältniß der Capacität des Gaſes unter beſtändigem Drucke zu dem unter beſtändigem Volum. Da man nun erſtere Capacität aus dem Vorhergehenden kennt, ſo iſt es leicht, die letztere zu finden. Für feſte Körper hat man in der neueſten Zeit einen ähnlichen Weg eingeſchlagen. Wird ein ſolcher, drahtförmig gezogener Körper ſchnell durch eine bedeutende Kraft geſpannt, ſo daß er eine Verlängerung erleiden muß, bei der nun erlangten Länge unverändert erhalten und gleich darauf ſeine Tonhöhe unterſucht, ſo wird aus derſelben ſeine Spannung berechnet werden können. Unterſucht man einige Zeit darauf ſeine Tonhöhe abermals, ſo kann aus dieſer wieder ſeine Spannung berechnet werden, und der Unterſchied beider Spannungen kann nur durch eine Temperaturänderung des Drahtes erzeugt werden, die er durch eine Volumänderung erlitten hat, und man iſt im Stande, dieſe Temperaturänderung, daraus das Verhältniß zwiſchen der Capacität bei conſtantem Drucke und bei conſtantem Volum abzunehmen, und ſo letztere ſelbſt zu finden. Für tropfbare Körper hat man noch kein Mittel zu demſelben Zwecke. (Dulong in Zeitſch. 6. 474. Weber in Pogg. Ann. 20. 177.)

227. Aus den verſchiedenen, bis jetzt angeſtellten Unterſuchungen ergeben ſich nun folgende Reſultate: 1) Die Capacitäten verſchiedener feſter und tropfbarer Körper ſind verſchieden, ſie mögen bei demſelben Drucke oder bei demſelben Volum angenommen werden. Die Capaci-

täten der chemiſch einfachen Gaſe ſind einander gleich, und zwar ſowohl die unter beſtändigem Drucke, als die unter beſtändigem Volum; wenigſtens liegen die bei Verſuchen gefundenen Differenzen innerhalb der wahrſcheinlichen Fehlergrenzen. Der Exponent des Verhältniſſes der Capacitäten unter gleichem Drucke und unter gleichem Volum iſt nach Dulong 1.421, nach Moll's und Beck's Schallverſuchen 1.4152. Verſchiedene chemiſch zuſammengeſetzte Gaſe haben verſchiedene Capacitäten. Bei jedem ſolchen Gaſe ſcheint aber der Exponent des Verhältniſſes ſeiner Capacität unter conſtantem Drucke zu der unter conſtantem Volum = 1.337 zu ſeyn. 2) Die Atome chemiſch ähnlich zuſammengeſetzter Körper ſcheinen gleiche Capacitäten zu haben, oder was daſſelbe iſt, bei chemiſch ähnlich zuſammengeſetzten Stoffen haben ſtöchiometriſche Quantitäten (Mengen, die ſich wie die Atomengewichte verhalten) gleiche ſpecifiſche Wärme. Iſt A das Atomengewicht, S die ſpecifiſche Wärme eines Körpers, ſo iſt SA eine Größe, welche für Körper von ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung denſelben Werth hat. 3) Die Capacitäten unter demſelben Drucke ſind ſowohl bei den bereits unterſuchten feſten, als bei den gasförmigen Körpern größer als die unter beſtändigem Volum, und man muß ſich vorſtellen, die einem Körper bei conſtantem Drucke mitgetheilte Wärme werde zum Theile zur Temperaturerhöhung desſelben, zum Theile aber zur Vergrößerung ſeines Volums verwendet. 4) Das Verhältniß der Capacität unter beſtändigem Drucke zu dem unter beſtändigem Volum bleibt (wenigſtens für Gaſe) bei allen Temperaturen daſſelbe. 5) Die Capacität bei beſtändigem Drucke wächſt ſowohl bei feſten als bei flüſſigen Körpern mit der Temperatur, und ein Körper braucht mehr Wärme, damit ſeine Temperatur von 100° auf 101° ſteige, als damit ſie von 0° auf 1° erhoben werde. 6) Die Capacität bei beſtändigem Drucke nimmt bei Gaſen (für andere Körper kennt man noch kein Reſultat) ab, wenn die Größe des Druckes zunimmt, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe als der Druck, und man muß z. B. den Druck auf ſeine 18fache Größe ſteigern, damit die Capacität auf die Hälfte herabgeſetzt werde.

Das Product SA hat nach Dulong und Petit für Metalle, mit Ausnahme von Arſenik und Antimon, den Werth 0.375, ſo daß die Capacität eines Metalles durch $\frac{0.375}{A}$ ausgedrückt wird. Nach Neumann iſt obiges Product für Metalloxyde, die aus 1 Atom Metall und 1 At. Sauerſtoff beſtehen, = 0.697; für ſolche, die aus 2 At. Metall und 3 At. Sauerſtoff zuſammengeſetzt ſind, = 1.782; für Sulfuride aus 1 At. Metall und 1 At. Schwefel = 0.757. (Neumann in Pogg. Ann. 23. 1.) Avogadro und Bredow haben dieſes Geſetz noch mehr zu verallgemeinern geſucht. (Avogadro in *Ann. de Chimie* 55. 38. Bredow über das Verhältniß der ſpecifiſchen Wärme zum chemiſchen Miſchungsgewichte. Berlin 1838.)

Capacität einiger feſter und tropfbarer Körper.

Name.	Capacität bei beſtändigem Drucke.	Capacität bei beſtändigem Volum.
Waſſer bei 22° R.	1,0000	—
» bei 80° R.	1,0127	—
Eis.	0.9000	—
Glas (von 0° — 100°)	0.1770	—
» (von 0° — 300°)	0.1900	—
Queckſilber (von 0° — 100°)	0.0330	—
» (von 0° — 300°)	0.0350	—
Schwefel	0.1880	—
Talg	0.2167	—
Holzkohle	0.2631	—
Leinöhl	0.5280	—
Brennöhl	0.7100	—
Schwefeläther (ſpec. Gew. 0.7676)	0.6600	—
Eiſen	0.1098	0.1026
Kupfer	0.0949	0.0872
Silber	0.0557	0.0525
Platin bei 100° C.	0.0335	—
» » 500° »	0.0358	—
» » 1000° »	0.03728	—
» » 1500° »	0.03938	—

Capacität einiger Gaſe (nach Dulong).

Name.	Capacität unter conſtant. Volum.	Capacität unter conſtant. Drucke.	Verhältniß beider Capacitäten.
Atmoſphäriſche Luft	1.000	1.000	1.421
Sauerſtoffgas	1.000	1.000	1.415
Waſſerſtoffgas	1.000	1.000	1.407
Kohlenſäuregas	1.249	1.175	1.338
Kohlenoxydgas	1.000	1.000	1.428
Oxydirtes Stickgas	1.227	1.16	1.343
Oehlbildendes Gas	1.754	1.531	1.240

B. Ausdehnung durch die Wärme.

228. Die Wärme ſteigert die abſtoßende Kraft der kleinſten Körpertheilchen. Im Inneren einer Maſſe hebt ſich dieſer Zuwachs für jedes Theilchen auf, die an der Oberfläche liegenden aber erleiden einen Druck von innen nach außen, welchem zu Folge ſie ſich von ihren Nachbartheilchen entfernen, und indem ſie dadurch auch für dieſe die Gleichheit des Zuges und Gegenzuges aufheben, auch ſie zur Beweguug nach außen beſtimmen. So kommt es, daß alle Theile durch die Wärme von einander entfernt werden, und der Körper ein größeres Volum einnimmt. Man kann ſich demnach die Wirkung der Wärme als einen

von innen nach außen auf die Körpertheile gerichteten und den Cohäſionskräften entgegenwirkenden Druck vorſtellen. Das Geſetz der Ausdehnung der Körper durch die Wärme muß daher durch die Vertheilung und Größe der Cohäſionskraft in denſelben beſtimmt werden. Körper, in denen die Cohäſionskräfte gleich vertheilt ſind, werden auch beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich ausgedehnt werden, und die Theile, welche vor der Erwärmung in einer Kugelfläche lagen, werden ſich auch nach der Erwärmung in einer ſolchen befinden. Anders muß es ſich mit Körpern verhalten, in denen die Cohäſionskräfte nach verſchiedenen Richtungen verſchieden vertheilt ſind. Da werden die bei einer beſtimmten Temperatur in einer Kugelfläche liegenden Theilchen ſich bei einem höheren Wärmegrade in einer anderen Fläche befinden. Der Erfahrung zu Folge ſind alle flüſſigen Körper, und von den feſten die unkryſtalliſirten gleichförmig dichten, in der Regel von der erſteren Art, eben ſo die kryſtalliſirten, welche ins vielarige (reguläre oder teſſulariſche) Syſtem gehören, und dieſe dehnen ſich beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich ſtark aus. Kryſtalliſirte Stoffe, welche nicht in das genannte Syſtem gehören, dehnen ſich nach verſchiedenen Richtungen verſchieden aus, und zwar die ins rhomboedriſche oder pyramidale Syſtem gehörigen nach der Richtung der Hauptaxe anders, als nach den Richtungen der Nebenaxen, nach allen dieſen aber gleich ſtark; die übrigen haben nach jeder Axe eine andere Ausdehnung. (Neumann in Pogg. Ann. 27. 240.)

229. Bei feſten Körpern, die ſich nach allen Richtungen gleich ſtark ausdehnen, beſtimmt man unmittelbar meiſtens nur die lineare Ausdehnung, welche eine beſtimmte Temperaturerhöhung erzeugt, und berechnet aus dieſer die Vergrößerung des Körperinhaltes. Man bedient ſich dazu eigener Inſtrumente, die man, wiewohl uneigentlich, Pyrometer nennt. Fig. 288 ſtellt ein ſolches Inſtrument vor. Der zu unterſuchende Körper A B wird an einem Ende B feſt eingeſpannt, am anderen A hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels a b c angeſtemmt, deſſen längerer Arm b c über einer eigenen Scale ſpielt, und darauf gleichſam die Verlängerung der Stange A B vergrößert darſtellt. (Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608.) Die Volums- oder kubiſche Ausdehnung iſt das Dreifache der linearen. Heißt nämlich die Dimenſion, um die es ſich handelt, bei der urſprünglichen Temperatur a, das Volum des betreffenden Körpers v, ſeine lineare, auf dieſe Dimenſion bezogene Ausdehnung durch die Erwärmung μa, wo μ einen echten, meiſtens ſehr kleinen Bruch bedeutet, und die Zunahme des Volums ρv; ſo iſt offenbar

$$v : v(1+\rho) = a^3 : a^3(1+\mu^3) = a^3 : a^3(1+3\mu+3\mu^2+\mu^3),$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläßigen und mit v und a^3 dividiren kann,

$$1 : 1+\rho = 1 : 1+3\mu, \text{ mithin } \rho = 3\mu.$$

Bei kryſtalliſirten Körpern erkennt man das Geſetz der Ausdehnung nach verſchiedenen Richtungen, indem man bei verſchiedenen Temperaturen ihre Flächen- und Körperwinkel mißt. Zwillingskryſtalle und

nach Art der Zwillinge durch einen paſſenden Kitt verbundene Kryſtalle mit geſchliffener Ebene geben bei einer beſtimmten Temperatur, bei welcher nämlich die ſpiegelnde Fläche eine Ebene bildet, nur ein Bild eines gegenüberſtehenden Objectes. Bei der Erwärmung ſchließen die Flächen der beiden Kryſtalle einen Winkel ein, und man ſieht demnach ſtatt eines Bildes deren zwei, und kann von ihrer Diſtanz auf den Neigungswinkel der Spiegel, und hiedurch auf das Geſetz der Ausdehnung in der Wärme ſchließen. (Mitſcherlich in Pogg. Ann. 41. 213.)

Nach Mitſcherlich verändern ſich die ebenen Winkel eines Kalkſpathrhomboeders bei einer Temperaturerhöhung von 80° R. um 8½ M., und zwar werden alle ſtumpfen Winkel kleiner, die complementären ſpitzigen größer; die Veränderungen ſtehen mit der Temperatur in geradem Verhältniſſe. Die Ausdehnung von 0° — 100° C. nach der Richtung der Hauptaxe iſt um 0.00342 größer als nach den anderen Axen. An manchem Kryſtalle werden aber bei der Erwärmung die ſtumpfen ebenen Winkel größer und ihre Complementwinkel kleiner. (Pogg. Ann. 1. 125; 10. 137.) Nach Fresnel kann man ſich von der ungleichen Ausdehnung der Gipskryſtalle nach verſchiedenen Richtungen auf folgende Weiſe überzeugen: Man löſe von einem ſolchen Kryſtalle ſehr dünne Blättchen ab, und leime ſie ſo auf einander, daß ſich ihre Axen rechtwinkelig kreuzen, mit einem Leim, der in der Wärme weich wird, und beim Erkalten erhärtet. Erwärmt man ein ſolches Doppelplättchen, und läßt es hierauf wieder kalt werden, ſo erſcheinen beide Theile desſelben auf eine Weiſe gekrümmt, aus der man abnehmen kann, nach welchen Richtungen in der Ausdehnung der Plättchen die größte Differenz herrſche. Es iſt klar, daß dieſem nach die bei der doppelten Brechung (104) aufgefundenen Größen ſich nur auf eine beſtimmte Temperatur (die gewöhnliche Lufttemperatur) beziehen, bei viel höheren oder minderen Wärmegraden aber anders ausfallen müſſen.

230. Die Ausdehnung der feſten Körper durch die Wärme iſt weder für verſchiedene Körper und dieſelbe Temperaturänderung gleich groß, noch für denſelben Körper den verſchiedenen Wärmegraden proportionirt, indeß kann man doch für Temperaturen, welche innerhalb des Fundamentalabſtandes des Thermometers liegen, die Ausdehnung eines Körpers ſeiner Temperatur proportional ſetzen. Bei höheren Temperaturen iſt die Ausdehnung viel größer, als nach dieſem Geſetze.

Ausdehnung einiger feſten Körper von 0° — 100° C.

Spiegelglas	$\frac{1}{1122}$	Kupfer	$\frac{1}{582}$
Flintglas	$\frac{1}{1232}$	Meſſing	$\frac{1}{533}$
Platin	$\frac{1}{1167}$	Stahl	$\frac{1}{480}$
Spießglanz	$\frac{1}{923}$	Wismuth	$\frac{1}{719}$
Gußeiſen	$\frac{1}{901}$	Silber	$\frac{1}{524}$
Weiches Schmiedeeiſen	$\frac{1}{819}$	Zinn	$\frac{1}{460}$
Weicher Eiſendraht	$\frac{1}{810}$	Blei	$\frac{1}{351}$
Gold	$\frac{1}{682}$	Zink	$\frac{1}{340}$

231. Die Verſchiedenheit der Ausdehnung feſter Körper für denſelben Temperaturunterſchied begründet die Möglichkeit, Körper ſo mit einander zu verbinden, daß ſie bei beſtimmten Temperaturänderungen

beſtimmte Bewegungen annehmen oder unverändert dieſelbe Länge beibehalten; auch viele Vorſichten bei der Verbindung verſchiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der ſich ſolche Körper ausdehnen, wenn ſie erwärmt werden, und ſich wieder zuſammenziehen, wenn man ſie abkühlt, läßt ſich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier ſich ungleich ausdehnenden Metalle beruht Brequet's und Holzmann's Metallthermometer. Brequet's Thermometer (Fig. 289) beſteht aus drei zuſammengeſchraubten, ſchraubenförmig gewundenen Plättchen von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende A befeſtiget, und am unteren B mit einem Zeiger verſehen ſind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung ſpielt. Holzmann's Thermometer (Fig. 290) hat die Form einer Taſchenuhr. Der eigentliche thermometriſche Theil desſelben iſt ein bogenförmiges Doppelplättchen A aus Eiſen und Meſſing, oder aus Platin und Meſſing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieſes iſt an einem Ende am Gehäuſe befeſtiget, am anderen aber mit einem Rechen a in Verbindung, der mit ſeinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers b angebracht iſt. Der Zeiger ſpielt auf einer mit der Thermometerſcale verſehenen Platte. — Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verſchiedener mit einander verbundenen oder verſchieden erwärmten Körper beruht das Krachen eiſerner geheizter Oefen, metallener Dächer oder des Eiſes an ſtrengen Wintertagen; das Zerreißen eiſerner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu geſtatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Waſſer- oder Dampfleitungsröhren die ſogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Keſſeln und großen Pfannen ringsum einen Zwiſchenraum zu laſſen; das Zerſpringen gläſerner Gefäße bei ſchneller Erhitzung oder Erkältung; das Abſchälen oder Zerſpringen der Glaſur an Gefäßen bei ſchneller Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher ſich erwärmte Körper ausdehnen, iſt im Stande, ungeheure Hinderniſſe zu überwinden. Man kann durch ſie die Kraft ſtarker Preſſen erſetzen. Eben ſo verhält es ſich mit der Energie, womit ſie ſich beim Erkalten zuſammenziehen. Molard hat dadurch ſtark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt.

232. Die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme läßt ſich unmittelbar dadurch beſtimmen, daß man ſie als thermometriſche Flüſſigkeiten behandelt, und ſie zum Füllen von Thermometern braucht, welche eine verhältnißmäßig ziemlich große Kugel haben, deren Rauminhalt gegen den der Röhre genau bekannt iſt. Wird ein ſolches Thermometer verſchiedenen Temperaturen ausgeſetzt, und für jede derſelben das Volum der Flüſſigkeit beſtimmt, ſo hat man die Aufgabe gelöſt. Daß man dabei auf die Ausdehnung des Gefäßes Rückſicht nehmen und ihren Einfluß in Rechnung bringen müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann zu demſelben Ziele auch dadurch gelangen, daß man die Dichte der Flüſſigkeit bei mehreren Temperaturen nach den (I. 162 und 163) angegebenen Methoden ſucht, und daraus auf ihr Volum ſchließt. Wie die Ausdehnung der Gaſe durch die Wärme unterſucht wird, und was hierüber die Erfahrung lehrt, iſt bereits S. 123 u. f. geſagt worden.

233. Durch ſolche Verſuche hat man ſich überzeugt, daß jeder tropfbaren Flüſſigkeit bei einerlei Temperaturänderung eine beſondere Ausdehnung entſpreche, und daß ſich keine durchaus der Temperatur proportional ausdehne. In der Regel kann man aber doch für Temperaturen, die weit von denen entfernt ſind, bei welchen die Flüſſigkeiten ihren Aggregationszuſtand ändern, eine Proportionalität zwiſchen der Ausdehnung und dem ihr entſprechenden Wärmegrade annehmen. In der Nähe ihres Siedpunktes dehnen ſie ſich in einem größeren Verhältniſſe aus, als die Temperatur wächſt, in der Nähe der Temperatur, bei der ſie feſt werden, verhalten ſich aber nicht alle auf gleiche Weiſe. Einige, z. B. Queckſilber, ziehen ſich beim Erkalten immer mehr zuſammen, und dehnen ſich auch beim Erwärmen ſtärker aus als bei höheren Temperaturen; bei anderen, wie z. B. beim Schwefel, findet das Gegentheil Statt; ja einige haben gar oberhalb ihres Eispunktes die größte Dichte, und dehnen ſich daher bei weiterer Erkaltung unter dieſen Punkt aus, ſtatt ſich zuſammenzuziehen. Dem Waſſer kommt dieſe merkwürdige Eigenſchaft zu. Dasſelbe hat nach Stampfer die größte Dichte bei 3° R. = 3.75 C., nach Hallſtröm bei 3°.90 C. mit einem wahrſcheinlichen Fehler von + 0°.04. (Jahrb. des polytechn. Inſtit. in Wien. B. 16. Muncke über die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme in den *Mém. présentés à l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg, Tom. I.* Die Reſultate dieſer Verſuche enthält auch Zeitſch. 10. 366. Hallſtröm in Pogg. Ann. 1. 129; 34. 220. Despretz ebend. 41. 58.)

Dichte und ſpecifiſches Gewicht des Waſſers.

Temperatur.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
— 3	1.000463	0.999537	1.043539	56.3511
2	1.000319	0.999681	1.043689	56.3592
1	1.000203	0.999797	1.043810	56.3658
0	1.000113	0.999887	1.043904	56.3708
+ 1	1.000050	0.999950	1.043970	56.3744
2	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
3	1.000000	1.000000	1.044023	56.3772
4	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
5	1.000047	0.999952	1.043972	56.3745
6	1.000106	0.999894	1.043911	56.3712
7	1.000187	0.999813	1.043827	56.3667
8	1.000289	0.999711	1.043720	56.3610
9	1.000413	0.999587	1.043591	56.3540
10	1.000558	0.999442	1.043440	56.3458
11	1.000723	0.999278	1.043268	56.3365
12	1.000906	0.999095	1.043077	56.3262
13	1.001108	0.998893	1.042866	56.3148
14	1.001329	0.998673	1.042636	56.3024
15	1.001567	0.998435	1.042388	56.2890

Temperatur.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
16	1.001822	0.998180	1.042122	56.2746
17	1 002095	0.997907	1.041839	56.2593
18	1.002384	0.997622	1.041539	56.2431
19	1.002687	0.997320	1.041223	56.2261
20	1.003005	0.997003	1.040893	56.2083
21	1.003338	0 996673	1.040549	56 1897
22	1.003685	0.996329	1.040190	56 1703
23	1.004045	0.995971	1.039816	56.1501
24	1.004418	0.995601	1.039429	56.1292
25	1.004804	0.995219	1.039031	56.1077
26	1.005202	0.994825	1.038620	56.0855
27	1.005612	0.994420	1.038197	56.0627
28	1.006032	0.994004	1.037763	56.0392
29	1.006462	0.993579	1.037319	56.0152
30	1.006902	0.993145	1.036865	55.9907
31	1.007353	0.992701	1.036402	55 9657
32	1.007813	0 992247	1.035928	55.9401

Nachſtehende Tabelle enthält das Volum einiger Flüſſigkeiten für die nebenſtehenden Temperaturen nach Muncke's Verſuchen:

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzſäure.	Salpeterſäure.	Schwefelſäure.
— 20	0.982	—	—	0.988	0.978	0.991
— 10	0.900	0.985	0.997	0.994	0.990	0.995
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
+ 10	1.010	1.015	1.003	1.006	1.010	1.006
20	1.021	0.030	1.007	1.011	1.021	1.011
30	1.032	0.046	1.012	1.017	1.032	1.017
40	1.043	1.064	1.017	1.022	1.042	1.023
50	1.054	—	—	—	1.054	1.029
60	1.066	—	—	—	1.065	1.035

Eine wäſſerige Löſung von ſalzſaurem Natrum mit dem ſpecifiſchen Gewichte 1.010 hat das Maximum der Dichte bei 1°.5 R. Salzwaſſer von 1.027 ſpecifiſchem Gewichte hat nach Erman (Pogg. Ann. 12. 463) kein ſolches Maximum; nach Despretz haben aber alle weingeiſtigen, ſalzigen, ſauren und alkaliſchen Löſungen im Waſſer ein ſolches. Meerwaſſer von 1.0275 ſpec. Gewichte fand er bei —3°.67 C. am dichteſten; Kochſalzſole von 0 00123 Dichte bei 1°.19 C., von 0.0246 Dichte bei — 1°.69, von 0.037 Dichte bei — 4°.75, und von 0.0741 Dichte bei — 16° C. Chlorkalcium von 0 0375 Dichte zeigte ſich bei — 2°.43, ſolches von 0.0741 Dichte bei — 10°.4 C. am dichteſten. Uebrigens ſinkt die Temperatur des Maximums der Dichte mit zunehmender Concentration der Löſung ſchneller als der Frierpunkt derſelben. Aus dieſem Verhalten des Waſſers erklärt es ſich, warum tiefe Wäſſer ſo ſelten gefrieren, warum das Gefrieren erſt eintritt, wenn die Temperatur der Luft ſchon längere Zeit hindurch unter 0° C. ſtand. Ob einer Flüſſigkeit ein Maximum der Dichte zukomme oder nicht, erfährt man am leichteſten, wenn man ſie erwärmt, hierauf abkühlen läßt, und die

Abkühlungsgeſchwindigkeit beobachtet. Dieſe iſt immer in der Nähe des Maximums der Dichte ein Minimum. — Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in ſeinem feſten Zuſtande mit der in ſeinem tropfbaren, ſo wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; ſo findet man, daß ſie für dieſelbe Temperaturänderung im flüſſigen Zuſtande größer iſt, als im feſten; doch ſcheint es zwiſchen den Ausdehnungen in beiden Zuſtänden einen Zuſammenhang zu geben. So z. B. dehnt ſich das Roſe'ſche Metallgemiſche nach Erman von 0°—30° R., wo es feſt iſt, und von 80° an, wo es flüſſig iſt, nach demſelben Geſetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei ſeiner Ausdehnung im feſten und flüſſigen Zuſtande dasſelbe Geſetz, und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung. (Pogg. Ann. 9. 557. 41. 58.) — Die Ausdehnung der Gaſe und Dünſte hängt mit ihrer Expanſivkraft ſo innig zuſammen, daß alles, was über dieſe geſagt wurde, auch von jener gilt, und daher nicht beſonders dargeſtellt zu werden braucht.

234. Die abſtoßende Kraft der Wärme wirket nicht bloß der Anziehung homogener Körpertheile entgegen, ſondern auch jener, die unter heterogenen Maſſen Statt findet und die Adhäſion begründet. Daher kommt es, daß Waſſer, welches bei der gewöhnlichen Temperatur ein Metall, z. B. einen Silberlöffel, leicht benetzt, in einem ſolchen bedeutend erhitzten, zu einem Tropfen zuſammenlauft und gar keine Adhäſion zum Metalle zeigt. Vielleicht hat Perkin's Erfahrung, nach welcher Waſſer aus einem durchlöcherten, aber ſtark erhitzten eiſernen Behälter nicht auslauft, etwa ſo wie Queckſilber in einem Haarſiebe, ohne auszulaufen, herumgetragen werden kann, einen gleichen Grund. (Buff in Pogg. Ann. 25. 591.)

C. Aenderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme.

235. In einem feſten Körper hat die anziehende Kraft der Theile über die abſtoßende der Wärme das Uebergewicht. Sind aber dieſe Theile einmal durch die Wärme ſo weit von einander entfernt worden, daß dieſes nicht mehr weiter geſchehen kann, ohne ihre gegenſeitige Anziehung in eine Abſtoßung zu verwandeln; ſo ſind ſie an ihrem Schmelzpunkte, und die geringſte Steigerung ihrer Temperatur erzeugt ein Uebergewicht der abſtoßenden Kraft über die anziehende und den Uebergang des feſten Zuſtandes in den tropfbar flüſſigen, d. h. ein Schmelzen. Durch Dehnen eines Körpers mittelſt einer von außen angebrachten Kraft kann man kein Schmelzen bewirken, weil dadurch nicht eine Entfernung aller Theile von einander erzeugt werden kann. In guten Wärmeleitern geht das Schmelzen, wenn es einmal an einer Stelle begonnen hat, raſch vorwärts, und erſtreckt ſich durch die ganze Maſſe, wenn ſolche Körper überhaupt der gehörigen Temperatur ausgeſetzt ſind; bei ſchlechten Leitern hingegen dauert es eine geraume Zeit, bis die ganze Maſſe geſchmolzen iſt. Einige Körper brauchen dazu nur eine mäßige Temperatur, wie z. B. Wachs, andere eine ungemein hohe, wie z. B. Gold, Eiſen, Platin, Iridium. Die Kohle ſcheint unter allen die höchſte Temperatur zum Schmelzen zu erfordern. Manche

Körper, wie z. B. alle organiſchen und auch viele unorganiſche, erleiden eher eine chemiſche Zerſetzung, als ſie die zum Schmelzen nöthige Temperatur erlangt haben; bei einigen kann man der Zerſetzung dadurch vorbeugen, daß man ſie unter einem ſehr hohen Drucke erhitzt. So iſt es Hall gelungen, ſelbſt Marmor zu ſchmelzen.

236. Während ein Körper ſchmilzt, nimmt er keine höhere Temperatur an, und eine Vermehrung des Wärmezufluſſes kann nur eine Beſchleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturerhöhung hervorbringen. So behält Eis in dem wärmſten Zimmer die Temperatur von 0° C. Die zufließende Wärme übernimmt die Function der Formänderung des Körpers, und hört auf zu erwärmen. Man nennt ſie die gebundene Wärme, und ſagt: beim Schmelzen der Körper wird Wärme gebunden. Dieſe gebundene Wärme iſt es, welche die Größe der zwiſchen den einzelnen Körpertheilchen herrſchenden abſtoßenden Kraft ſo weit ſteigert, daß ſolche Theile, die ohne den Zutritt der Wärme auf einander anziehend wirkten, nun bei derſelben Entfernung eine abſtoßende Wirkung auf einander ausüben. (Vergl. I. 146.)

Um die Wärmemenge (Flüſſigkeitswärme) zu finden, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird, bedient man ſich am beſten der Miſchungsmethode. Aus dem früher Geſagten iſt bekannt, daß die ſpecifiſche Wärme des Waſſers $\frac{1}{75}$ beträgt. Dieſes Reſultat gibt auch die Flüſſigkeitswärme des Waſſers an. Man kann es zu dieſem Behufe ſo ausſprechen: Eine Eismaſſe bindet beim Schmelzen ſo viel Wärme, daß man damit eine gleiche Waſſermaſſe von 0° C. bis 75° C. erwärmen könnte. Verſuchen zu Folge, beträgt die Flüſſigkeitswärme beim Wachs 97°.5, beim Spermacet 80°, beim Zinn 277°.5, beim Blei 5°.8 C. (*Ann. de Chim.* 48. 363.)

237. Wenn einem tropfbaren Körper bis zu einem beſtimmten Grade Wärme entriſſen wird, ſo nimmt er wieder den feſten Zuſtand an. Manche Körper gehen unmittelbar vom tropfbaren in den feſten über, manche geſtehen zuerſt, und werden hierauf erſt feſt. Dabei kryſtalliſiren faſt alle, wenn die dazu erforderlichen Bedingungen vorhanden ſind, und nehmen daher faſt immer ein größeres Volum ein (Bellani in Zeitſch. 3. 481. Marx in Schweigg. J. 58. 454), indem die Theile nun nicht mehr in jeder Lage neben einander im Gleichgewichte ſtehen, ſondern ſich an beſtimmten Punkten ſtärker anziehen, als an anderen. Die Temperatur, bei der ſie feſt werden, ſtimmt in der Regel mit derjenigen überein, bei welcher ſie ſchmelzen, jedoch kann man einen flüſſigen Körper in einem enghalſigen Gefäße bei hinreichender Ruhe weit über den gewöhnlichen Gefrierpunkt erkälten, ohne daß er feſt wird. So läßt ſich Waſſer bei — 10° und ſelbſt bis — 20° C. tropfbar erhalten, aber die geringſte Erſchütterung bringt es dann zum Erſtarren.

238. Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wird beim Gefrieren wieder frei. Darum behält Waſſer, das langſam friert, während des ganzen Prozeſſes ſtets die Temperatur von 0° C.; ja wenn es noch bei einigen Graden unter dem Eispunkte flüſſig erhal-

ten worden iſt, ſo ſteigt ſeine Temperatur im Augenblicke des Gefrierens ſchnell auf 0° C. Noch auffallender zeigt dieſes eine geſättigte wäſſerige Glauberſalzlöſung. Wird dieſe bei der Siedhitze bereitet, dann luftdicht eingeſchloſſen und an einen ruhigen Ort gebracht, ſo erhält ſie ſich im tropfbaren Zuſtande. So wie man ſie aber erſchüttert oder mit einem feſten Körper berührt, wird die Maſſe augenblicklich feſt, und es tritt eine ſehr merkliche Erwärmung ein. Etwas Aehnliches zeigt ſich beim Feſtwerden des ſalzſauren Kalkes. (Scholz Anfangsgründe der Phyſik. 5. Aufl. S. 466.) Aus dem beim Schmelzen und Feſtwerden der Körper Statt habenden Binden und Freiwerden der Wärme erklären ſich viele merkwürdige Phänomene: z. B. die fortwährende Kälte, welche man empfindet, wenn man Eis oder Schnee in die Hand nimmt; warum eine bleierne Kugel, in Papier gewickelt, über einer Kerzenflamme ſchmilzt, ohne daß das Papier angezündet wird ꝛc.

239. Wenn eine tropfbare Flüſſigkeit bis zu einem gewiſſen Grade erwärmt wird, ſo tritt jenes Phänomen ein, welches man das Sieden nennt, und wobei die Flüſſigkeit die Dunſtform annimmt. Wird, wie es gewöhnlich geſchieht, die Erwärmung von unten angebracht; ſo macht ſich zuerſt die Luft von der Flüſſigkeit los, ſetzt ſich an die Wände in Geſtalt kleiner Bläschen an, und entfernt ſich endlich aus der Flüſſigkeit. Hierauf ſieht man Dunſtbläschen vom Boden aufſteigen, doch verſchwinden ſie wieder in den oberen, noch nicht hinreichend erhitzten Schichten; ſie verurſachen dadurch jenes Geräuſch, das dem Sieden vorhergeht, und erwärmen zugleich die obere Flüſſigkeit. Iſt endlich die ganze Maſſe bis zum gehörigen Grade erwärmt, ſo ſteigen die Dunſtbläschen bis an die Oberfläche und verurſachen jenes Wallen und Blaſenwerfen, welches das Sieden charakteriſirt. Flüſſigkeiten, die ſich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, ſchwellen beim Sieden an, weil die Dünſte dieſe Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen. Eine Flüſſigkeit, die in ihrem Gefäße einen kugelförmigen Tropfen bildet, und es daher nur an wenigen Punkten berührt, kann, ſo lange ſie die Kugelgeſtalt nicht verliert, nicht die zum Sieden nöthige Hitze vom Gefäße bekommen, um ſo mehr, als ſie wegen ihrer großen Oberfläche viel Wärme verliert. Daher kommt es, daß Waſſer in einem ſtark erhitzten Silberlöffel erſt zu ſieden anfängt, wenn die Temperatur des Löffels bis auf einen gewiſſen Grad herabgeſunken, und ſeine Adhäſion zum Metalle wieder hergeſtellt iſt. (Leidenfroſt'ſcher Verſuch.)

240. Die Temperatur, bei welcher eine Flüſſigkeit ſiedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr laſtenden Drucke ab. So z. B. braucht Oehl eine höhere Temperatur zum Sieden, als Waſſer, dieſes eine höhere als Weingeiſt, dieſer eine höhere als Schwefeläther. Die da ſich bildende ausdehnſame Flüſſigkeit wollen wir Dampf nennen, zum Unterſchiede von der unter dem Siedpunkte entſtehenden, die Dunſt heißen mag. Die beim Sieden entſtehenden Dämpfe müſſen eine Spannkraft haben, welche dem auf der Flüſſigkeit laſtenden

Drucke gleich iſt, und darum fordert eine Flüſſigkeit zum Sieden eine deſto höhere Temperatur, unter einem je größeren Drucke ſie ſteht. Darum ſiedet z. B. Waſſer in verdünnter Luft unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther ſchon bei der gewöhnlichen Temperatur in ſtark verdünnter Luft zum Sieden bringen, und aus dieſem Grunde kocht das Waſſer im Pulshammer (einer luftleeren, Waſſer enthaltenden Glasröhre) ſchon, wenn man es mit der warmen Hand berührt. Wenn ſich die aus einer ſiedenden Flüſſigkeit aufſteigenden Dämpfe nicht entfernen können, ſo addirt ſich ihre Spannkraft zum atmoſphäriſchen Drucke, und bewirkt ſo einen verſtärkten Druck auf die Flüſſigkeit. Die nun entſtehenden Dämpfe müſſen eine dieſem Drucke gleiche Spannkraft haben, welche ſie nur von einer erhöhten Temperatur erhalten können. Daher kommt es, daß Waſſer im Papin'ſchen Digeſtor eine zum Schmelzen des Zinnes hinreichende Temperatur annehmen kann, und daß es in einem Gefäße, welches man während des Siedens der Flüſſigkeit luftdicht geſchloſſen hat, gleich zu ſieden aufhört, aber ſelbſt von der Wärmequelle entfernt, wieder zu ſieden beginnt, wenn man die Dämpfe durch Erkältung verdichtet. Die in den unteren Schichten einer ſiedenden Flüſſigkeit entſtehenden Dämpfe haben des größeren, auf ihnen laſtenden Druckes wegen, eine größere Spannkraft, als die weiter aufwärts entſtandenen, und nehmen beim Aufſteigen eine dem verminderten Drucke entſprechende Dichte, Spannkraft und Temperatur an. An der Oberfläche der Flüſſigkeit angelangt, iſt ihre Spannkraft dem Drucke der Atmoſphäre gleich, und wird demnach durch den jeweiligen Barometerſtand gemeſſen. Die Temperatur des austretenden Dampfes, oder was dasſelbe iſt, jene der oberſten ſiedenden Schichte iſt der genaue Siedpunkt unter dem herrſchenden Luftdrucke. Der Siedpunkt einer Flüſſigkeit wird durch chemiſche Verbindung mit einer anderen, die erſt bei einer höheren Temperatur ſiedet, erhöht. So z. B. ſiedet Waſſer in Verbindung mit Schwefelſäure ſchwerer als reines Waſſer, Weingeiſt mit Waſſer gemiſcht, ſchwerer als Alkohol; auch bei allen wäſſerigen Salzauflöſungen liegt der Siedpunkt höher, als bei reinem Waſſer, aber die beim Sieden entſtandenen Dämpfe haben dieſelbe Temperatur und Spannkraft, wie die aus dem reinen Waſſer entwickelten, vorausgeſetzt, daß ſie reine Waſſerdämpfe ſind. (Rudberg in Pogg. Ann. 34. 257, und Prechtl in ſeiner technol. Encyklopädie, B. 3. 507.) Merkwürdig iſt es, daß eine Flüſſigkeit durch einen gepulverten oder poröſen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihilfe eines ſolchen Mittels nöthige Temperatur beſitzt. Daß ſich mit der Verflüchtigung eines Beſtandtheiles beim Sieden auch der Siedpunkt ändern müſſe, iſt klar, und hierin liegt der Grund, warum gemiſchte Flüſſigkeiten in der Regel einen veränderlichen Siedpunkt haben. Auch ſolche Flüſſigkeiten, die aus zwei chemiſch nicht auf einander wirkenden, in Schichten getheilten Flüſſigkeiten beſtehen, haben einen veränderlichen Sied-

punkt, und dieſer liegt zwiſchen dem Siedpunkte der flüchtigeren Flüſſigkeit und jener Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Beſtandtheile dem Luftdrucke gleich iſt. Iſt demnach die flüchtigere Flüſſigkeit die obere, ſo ſiedet ſie bei ihrem natürlichen Siedpunkte; iſt ſie aber die untere, ſo beginnt ſie erſt zu ſieden, wenn ihre Dämpfe eine Spannkraft haben, welche dem auf ihr laſtenden Drucke gleich iſt. Treten aber dieſe Dämpfe in die obere Flüſſigkeit ein, ſo bildet der Raum, den ſie einnehmen, für die Dünſte dieſer oberen Flüſſigkeit ein Vacuum; es bilden ſich aus dieſer Dünſte, und der Druck derſelben hilft den von unten kommenden den Luftdruck ertragen. Es erfolgt darum eine Ausdehnung der Dämpfe bis zu dem Grade, wo Dampf und Dunſt eine dem Luftdrucke gewachſene Spannkraft haben, und bei dieſer Temperatur ſiedet die ganze Flüſſigkeit.

Auf dem Montblanc ſiedet Waſſer ſchon bei 86½° C., auf dem Pic von Teneriffa bei 88°.7 C., in Quito bei 90°.1, in Mexico bei 92°.3; im Hoſpiz auf dem St. Bernhard hat ſiedendes Waſſer nur die Hitze von 92¼°, und man kann darin Rindfleiſch nicht weich kochen. Da die Siedhitze des Waſſers mit dem Luftdrucke, und dieſer mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zuſammenhängt, ſo hat man ein ſehr empfindliches Thermometer (das $^1/_{1000}$ eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmeſſen empfohlen, worüber in der Folge mehr.

Tabelle der Sied- und Schmelzpunkte einiger Körper.

Schmelzpunkte.		Siedpunkte.	
Gußeiſen	11380° C.	Queckſilber	350° C.
Gold	2884	Leinöhl	315
Silber	2596	Schwefelſäure	310
Kupfer	2524	Phosphor	290
Meſſing	2092	Terpentinöhl	273
Zink	371	Kali	140
Blei	312	Bleizuckerlöſung	102
Zinn	227	Alkohol	79.7
Phosphor	37	Schwefeläther	37.8
Milch	— 1	Salpetrige Säure	28
Queckſilber	—39	Salpeteräther	20
Schwefeläther	—44	Schwefelige Säure	—10

241. Die Dunſtbildung beim Sieden erfolgt auf Koſten eines Antheils freier Wärme, welche gebunden wird. Davon überzeugt man ſich ſchon durch das einfache Factum, daß man unter denſelben Umſtänden die Temperatur einer ſiedenden Flüſſigkeit nicht weiter ſteigern kann. Vermehrt man den Zufluß der Wärme, ſo wird nur die Dunſtbildung verſtärkt, aber weder die Temperatur der Flüſſigkeit, noch die des Dampfes erhöht. Dieſe Wärme wird wieder frei, wenn der Dampf in tropfbaren Zuſtand übergeht.

Man kann die Wärmemenge, welche beim Uebergange einer gewiſſen Quantität von irgend einer tropfbaren Flüſſigkeit in Dampf gebunden, und beim entgegengeſetzten Prozeſſe wieder frei wird (Dunſtwärme), durch einen einfachen Verſuch beſtimmen. Man nehme den Apparat,

Fig. 291, fülle in A die Flüſſigkeit ein, welche ausdehnſam werden ſoll, und laſſe die Dämpfe durch die Röhre B in einen ſchlangenförmigen Anſatz C gelangen, der von einer beſtimmten Menge kalten Waſſers umgeben iſt, damit ſie daſelbſt zerſetzt werden, und die gebundene Wärme an das Waſſer abgeben. Es bedeute nun T und M die Temperatur und Menge der Dämpfe, C die Wärmecapacität der aus den Dämpfen entſtehenden tropfbaren Flüſſigkeit, t und m die Temperatur und Menge des Waſſers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Verſuche, t′ die Temperatur desſelben nach dem Verſuche, $x\sigma$ die von einer Dampfmenge = 1 gebundene Wärme, wobei σ wie immer die ſpecifiſche Wärme des Waſſers anzeigt, ſo daß x die Anzahl Grade, um welche man die Temperatur einer Maſſe Waſſer = 1 damit erwärmen könnte, d. h. die Verdünſtungswärme in Thermometergraden ausdrückt. Man hat, nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors σ, da die Dämpfe ſich im Maximum der Spannkraft für die Temperatur T befinden, mithin bei der geringſten Abkühlung in tropfbaren Zuſtand übergehen, die Gleichung

$$CM(T-t') + Mx = m(t'-t), \text{ und hieraus}$$

$$x = \frac{m(t'-t) - CM(T-t')}{M}.$$

Auf dieſem Wege hat man gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um Waſſer von 100° C. in Dampf von derſelben Temperatur zu verwandeln, eine gleiche Menge Waſſer von 0° auf 531° C. bringen könnte. Auf gleiche Weiſe würde man mit der Wärme, womit ſiedend heißer Alkohol oder Schwefeläther in Dämpfe verwandelt wird, eine gleiche Menge des erſteren um 332°, des letzteren um 174°.5 C. erwärmen können. (*Despretz in Ann. de Ch.* 24. 323.) — Aus dem Binden der Wärme beim Sieden und dem Freiwerden derſelben bei der Zerſetzung der Dünſte erklären ſich viele Phänomene: Warum ein zinnernes Gefäß beim heftigſten Feuer nicht ſchmilzt, ſo lange Waſſer darin iſt, der Nutzen des Waſſerbades beim Erhitzen gewiſſer Körper, die Erhitzung des Kühlwaſſers beim Deſtilliren ꝛc.

242. Es iſt bekannt, daß Flüſſigkeiten nicht bloß bei der Siedhitze, ſondern auch weit unter dieſer verdünſten, ja daß ſogar manche feſte Körper, wie z. B. Eis, Kampfer, Jod, bei einer Temperatur, bei welcher ſie nicht einmal tropfbar werden können, Dünſte liefern; jedoch entſtehen ſie nur an der Oberfläche ohne die mindeſte Bewegung der verdünſtenden Maſſe. Vor Kurzem war man noch der Meinung, daß Flüſſigkeiten bei jeder Temperatur verdünſten; aber Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüſſigkeit eine gewiſſe Temperatur gebe, unter welcher ſie keine Dünſte mehr liefert. So z. B. iſt Queckſilber unter 5° R., Schwefelſäure bei der gewöhnlichen Luftwärme fir. Dieſe Grenztemperatur iſt diejenige, bei welcher die entſtehenden Dünſte eine Spannkraft haben, die mit ihrer Schwere und mit der Anziehung gleichartiger Theile unter einander im Gleichgewichte ſteht. So wie die Temperatur unter dieſe Grenze hinabſinkt, werden die Theile einer Flüſſigkeit oder eines feſten Körpers ſtärker nach abwärts oder zu den gleichartigen Theilen derſelben Maſſe hingezogen, als ſie durch ihr Beſtreben, expanſibel zu werden, aufwärts und von dem Reſte des Körpers weggetrieben werden können. Wiewohl dem Waſſer beigemengte Oehle bei einer beſtimmten Temperatur überdeſtilliren, ſo wird doch bei

dem gewöhnlichen Wärmegrade die Flüchtigkeit derſelben durch Waſſer nicht erhöht. (Faraday in Zeitſch. 2. 226. Pogg. Ann. 19. 545.)

243. Im luft- und dunſtleeren Raume bildet ſich faſt augenblicklich von einer Flüſſigkeit ſo viel Dunſt, als darin beſtehen kann; enthält dieſer Raum aber ſchon Luft oder irgend einen anderen Dunſt, ſo wirken dieſe als mechaniſche Hinderniſſe den neu zu bildenden Dünſten entgegen und verzögern die Verdünſtung. Ganz unterdrückt wird ſie aber bei einer Temperatur, bei welcher die Flüſſigkeit noch nicht fix iſt, nur durch ſchon vorhandene Dünſte von der größten Spannkraft. Darum wird die Verdünſtung durch Erhöhung der Temperatur, durch Wegſchaffen der ſchon gebildeten Dünſte, durch Verdünnen der Luft und durch Vergrößern der Oberfläche der verdünſtenden Flüſſigkeit geſteigert; darum befördert der Wind im Freien die Verdünſtung der Flüſſigkeiten ſo ſehr, und darum verdünſtet eine gegebene Menge Waſſer ſchneller, wenn man ſie auf den Boden ſpritzt oder von einem Tuche, von Sand ꝛc. aufſaugen läßt, als wenn man ſie in einem engen Gefäße der Luft ausſetzt; darum verdünſtet eine Flüſſigkeit aus einem Haarröhrchen, wo ſie am Rande ſtark in die Höhe gezogen wird und eine relativ größere Oberfläche annimmt, reichlicher, als aus einem weiteren Gefäße. (Pogg. Ann. 26. 463.) Auf dem Verdünſten beruht das Trocknen naſſer Körper, das Graduiren der Salzſoolen ꝛc. Man begreift leicht, daß von einem Gemiſche zweier Flüſſigkeiten nicht jeder Beſtandtheil unter denſelben Umſtänden gleich ſchnell verdünſtet, daß z. B. Weingeiſt, Branntwein in offenen Gefäßen ſchwächer werden muß ꝛc., weil die Luft in der Regel wohl frei von Weingeiſt- aber nicht von Waſſerdünſten iſt, und daher erſtere leichter entſtehen als letztere. Bei Dünſten, welche aus einer Salzlöſung unter der Siedhitze entſtehen, herrſcht zwiſchen ihrer Spannkraft und Temperatur nicht dasſelbe Verhältniß wie bei den aus reinem Waſſer gebildeten, und dadurch unterſcheiden ſich demnach wieder Dünſte von Dämpfen.

244. Bei der Dunſtbildung unter der Siedhitze wird eben ſo Wärme gebunden, wie beim Sieden, ja es braucht ſogar dieſelbe Dunſtmenge in beiden Fällen gleich viel Wärme zu ihrem Entſtehen. Da dieſe Wärme nicht wie beim Sieden von einer eigenen Wärmequelle zufließt, ſo muß ſie der nächſten Umgebung entriſſen werden. Deßhalb entſteht bei dieſer Verdünſtung ſtets eine Erkältung, welche deſto ſtärker iſt, je ſchneller ſich die Dünſte bilden und je mehr Wärme ſie zu ihrer Bildung brauchen. Dieſes beſtätiget die Erfahrung in unzähligen Fällen.

Um z. B. Waſſer, deſſen Temperatur 100° C. beträgt, in Dunſt von derſelben Temperatur zu verwandeln, ſind 531° C. Wärme nöthig (ſ. 241 Anm.); ſoll daher Waſſer von 0° C. auf 100° C. gebracht und dann in Dunſt verwandelt werden, ſo muß es 631° C. Wärme aufnehmen. Gerade ſo viel Wärme iſt nöthig um Waſſer von 0° C. in Dunſt von 0° C. oder von 20° C. u. ſ. w. umzuſtalten. Iſt alſo t° C. die Temperatur des Waſſers und des aus demſelben gebildeten Dunſtes, ſo ſind für die Dunſtbildung (631° — t°) C. verwendet worden. Von dem Binden der

Wärme bei der Dunſtbildung rührt die Kälte her, welche man nach einem Bade empfindet, die Abkühlung der Luft durch einen Regen oder durch Aufſpritzen von Waſſer, die Gefahr einer zu ſtarken Abkühlung nach dem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der Alkarazzas (poröſer Thongefäße) der Spanier, die Möglichkeit in einem ſehr ſtark erhitzten Raume auszuhalten, wie dieſes mit Solander, Banks und Blagden in einer Temperatur von mehr als 127° C. der Fall war. Setzt man ein Schälchen Waſſer in ein größeres Gefäß mit Schwefeläther, und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, ſo kann man durch fleißiges Verdünnen der Luft das Waſſer zum Frieren bringen. Dasſelbe kann man auch erreichen, wenn man ſtatt des Aethers Schwefelſäure nimmt, welche die entſtandenen Waſſerdünſte abſorbirt. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, ſtellt ein Schälchen mit Schwefelſäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft, ſo kann eine bis zum Gefrieren des Queckſilbers ſteigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünſten der flüſſigen ſchwefeligen Säure kann man Queckſilber zum Gefrieren bringen. Wollaſton's Kryophor gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieſer beſteht (wie Rumford's Thermoſkop) aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden ſind. Eine derſelben enthält Waſſer, übrigens iſt der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, ſo friert das Waſſer in der anderen. Daniell's, Körners, Leslie's Hygrometer beruhen auch auf der Wärmebindung beim Verdünſten.

Nach den hier dargeſtellten Geſetzen läßt ſich auch die Formel rechtfertigen, welche im erſten Theile 219 zur Berechnung der Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünſte nach den Anzeigen des Thermohygrometers angegeben wurde. Es iſt nämlich bei dieſem Inſtrumente immer ein kleiner mit der befeuchteten Thermometerkugel concentriſcher Raum mit Waſſerdunſt geſättigt. Ein Theil dieſes Dunſtes war ſchon vorhanden, um deſſen Spannkraft handelt es ſich eigentlich; der andere iſt erſt durch Verdünſtung des Waſſers am Kugelüberzuge entſtanden. Letzterer wurde auf Koſten der Wärme gebildet, welche die Luft und der ihr beigemengte Dunſt bei dem Uebergange von der herrſchenden Lufttemperatur zu jener, welche das ſtationär gewordene befeuchtete Thermometer anzeigt, abgegeben haben. Nennt man nun die Temperatur des trockenen Thermometers t, die des benetzten t', das Gewicht der Luft in dem Raume, aus welchem dem verdünſtenden Waſſer Wärme zufließt, p, das Gewicht des darin urſprünglich enthaltenen Dunſtes q, und das Gewicht des neu entſtandenen Dunſtes s; ferner die Wärmecapacität der Luft c, jene des Dunſtes γ, beide auf conſtanten Druck bezogen und durch die Capacität des Waſſers gemeſſen, deſſen ſpecifiſche Wärme σ ſey; endlich die Dunſtwärme des Waſſers für 0° C. in Temperatursgraden ausgedrückt λ, ſo beſteht, da die hergegebene Wärmemenge $p(t-t')c\sigma + q(t-t')\gamma\sigma$ der conſumirten $s(\lambda-t')\sigma$ gleich ſeyn muß, die Gleichung

$$(pc + q\gamma)(t - t') = s(\lambda - t').$$

Es ſey b der herrſchende Barometerſtand, e die zu beſtimmende Spannkraft des Dunſtes in der Luft, e' das Maximum dieſer Spannkraft für die Temperatur t' des benetzten Thermometers; mithin $b-e$ der Druck, unter welchem die Luft, $e'-e$ jener, unter welchem der neuzugewachſene Dunſt ſteht; ferner ſey $\alpha : 1$ das Verhältniß der Dichte des Dunſtes zu jener der Luft bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur, ſo hat man

$$p : q = b - e : \alpha e, \text{ d. h. } q = \frac{\alpha e p}{b - e}, \text{ und eben ſo } s = \frac{\alpha (e - e) p}{b - e}.$$

Dieſe Reſultate, in obige Gleichung eingeführt, geben nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors p, und nach Wegſchaffung des Nenners b — e, wenn man zur Abkürzung d ſtatt $t' - t$ ſchreibt,

$$[c (b - e) + \alpha \gamma e] \, d = \alpha (e' - e) (\lambda - t'),$$

oder $[\alpha (\lambda - t') + (\alpha \gamma - c) \, d] \, e = \alpha (\lambda - t') \, e' - c b d$, woraus

$$e = \frac{\alpha (\lambda - t') \, e' - c b d}{\alpha (\lambda - t') + (\alpha \gamma - c) \, d} \text{ folgt.}$$

Die Erfahrung gibt $c = 0.2669$, $\gamma = 0.8470$, $\alpha = 0.62$, $\lambda = 631$ in ſofern die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale beſtimmt werden; hiernach kann obige Formel leicht zur numeriſchen Rechnung vorgerichtet werden. Wegen der bedeutenden Größe von λ kann man, der in der Ausübung erreichbaren Genauigkeit unbeſchadet, den zweiten Theil des Nenners nämlich $(\alpha \gamma - c) \, d$ weglaſſen; man erhält ſonach

$$e = e' - \frac{c b d}{\alpha (\lambda - t')}$$ und wenn man noch t′ in Bezug auf λ vernachläßiget,

$$e = e' - \frac{c}{\alpha \lambda} b d.$$ Man findet näherungsweiſe $\frac{c}{\alpha \lambda} = 0.0007$.

Iſt die Thermometerkugel mit einer Eisrinde überzogen, ſo muß man zu λ noch 75° hinzufügen, und erhält für den Werth des Coefficienten im zweiten Gliede 0.0006 Indeſſen werden dieſe Coefficienten von verſchiedenen Phyſikern etwas höher angenommen als ſie dieſe Rechnung gibt, von der ſie nur die Form des Ausdruckes entlehnen. In der That kann man, wenn man $e = e' - A b d$ annimmt, den Werth des Coefficienten A indirect durch Vergleichung der Anzeigen des Schwefelätherhygrometers mit jenen des Pſychrometers beſtimmen. Auguſt (über die Fortſchritte der Hygrometrie in der neueſten Zeit, Berlin 1830) ſetzt

$$e = e' - \frac{0.558 \, b d}{\lambda - t'},$$

während der numeriſche Coefficient in dieſer Formel nach Obigem $= \frac{c}{\alpha} = 0.43$ ſeyn würde. Die Formeln S. 154 halten das Mittel zwiſchen den verſchiedenen Angaben.

D. Anwendung des Dampfes.

245. Die Geſetze der Dunſtbildung finden beim Deſtilliren ihre Anwendung; der Dampf hingegen wird zum Heizen und Trocknen und als bewegende Kraft bei Dampfmaſchinen angewendet.

246. Beim Deſtilliren hat man die Abſicht, eine Flüſſigkeit von einer anderen, minder flüchtigen zu trennen. Man bringt deßhalb zum Behufe der Deſtillation die gemiſchte Flüſſigkeit in ein eigenes Gefäß, welches Keſſel oder auch Blaſe genannt wird, und erhöht ihre Temperatur, bis der flüchtigere Beſtandtheil ſich in Dünſte verwandelt. Dieſe werden in einen eigenen Behälter, den Condenſator geleitet, der meiſtens von kaltem Waſſer umgeben iſt, und denſelben eine hinreichend große Oberfläche darbietet, damit ſie wieder in

den tropfbaren Zuſtand übergehen. Man hat zu dieſem Behufe vielerlei Apparate; Fig. 292 ſtellt einen, Fig. 293 einen anderen dieſer Apparate vor. Oft findet man es räthlich zur Beſchleunigung der Deſtillation einen luftleeren Raum zu erzeugen.

247. Da der Dampf, beſonders der Waſſerdampf, ſo viele gebundene Wärme enthält, ſo wird er zur Fortleitung der Wärme vorzüglich gebraucht werden können; darum benützt man ihn auch zum Erhitzen von Flüſſigkeiten, wohl auch zum Erwärmen der Zimmerluft. Zu erſterem Zwecke wird der in einem eigenen Keſſel erzeugte Waſſerdampf durch mehrere Röhren unmittelbar in die Flüſſigkeit geleitet, welche erwärmt werden ſoll, oder wenn dieſes nicht angeht, ſo läßt man den Dampf nur die Wände des Gefäßes berühren, welches dieſe Flüſſigkeit enthält. In jedem Falle erreicht man den Vortheil, daß man für mehrere abgeſonderte Maſſen dieſer Flüſſigkeit nur einen Hauptkeſſel und eine Feuerſtelle braucht.

Fig. 294 ſtellt einen ſolchen Waſſerkeſſel, in welchem die Dämpfe erzeugt werden, ſammt dem Füllapparate vor. A iſt der Keſſel, B ein Waſſerbehälter, welcher durch eine Röhre C mit dem Inneren des Keſſels communicirt und letzteren mit Waſſer verſieht. Dieſe Röhre iſt durch einen Kegel geſchloſſen, welcher an einer Stelle b des einarmigen Hebels a b c befeſtiget iſt. Dieſer Hebel hat am freien Ende c eine hohle Metallkugel, welche im Waſſer ſchwimmt, und, indem ſie an deſſen Oberfläche erhalten wird, die Röhre C ſchließt, ſobald eine hinreichende Waſſermenge im Keſſel iſt, widrigenfalls aber neues Waſſer nachfließen läßt. D ſind Röhren, durch welche der Dampf an ſeinen Beſtimmungsort geführt wird. — Zum Behufe der Heizung wird der Dampf aus einem eigenen Keſſel durch Röhren geleitet, welche durch die zu heizenden Zimmer gehen. Das aus der Verdichtung der Dämpfe entſtehende Waſſer wird wieder in den Keſſel zurückgeführt.

248. Die wichtigſten Dienſte leiſtet der Waſſerdampf durch ſeine Expanſivkraft, indem er dadurch das bewegende Princip der Dampfmaſchinen wird. Die weſentlichen Beſtandtheile einer Dampfmaſchine ſind: der Keſſel, der Dampfcylinder mit dem Kolben und der Condenſator. Der Keſſel enthält das Waſſer, welches in Dampf verwandelt werden ſoll, und befindet ſich deßhalb über einem eigenen Feuerherde; er iſt auch mit mehreren Röhren verſehen, wovon einige dazu dienen, um den Waſſerſtand und die Expanſivkraft des vorhandenen Dampfes anzuzeigen, andere, um das Waſſer zuzuleiten, endlich eine, wodurch der Dampf vom Keſſel in den Dampfcylinder geht. Dieſer enthält den Kolben, welcher luftdicht an die Wände des Cylinders anſchließt, und durch die Expanſivkraft des Dampfes bewegt wird. Er iſt oben und unten luftdicht verſchloſſen, und ſelbſt die Kolbenſtange geht durch eine gut ſchließende Stopfbüchſe. Mit dieſer Kolbenſtange ſteht alles in mittelbarer oder unmittelbarer Verbindung, was durch die Dampfmaſchine bewegt werden ſoll. Der Dampf, welcher bereits ſeine Wirkung gethan hat, kommt vom Cylinder in den Condenſator, wo er mittelſt kalten Waſſers verdichtet wird, oft wird er auch ins Freie gelaſſen.

249. An einigen Dampfmaſchinen wird der Kolben nur nach einer Richtung durch den Dampf getrieben, nach der entgegengeſetzten muß er durch das Uebergewicht der Maſchinentheile, vorzüglich des Balanciers, bewegt werden. Dieſe nennt man Maſchinen mit einfacher Wirkung. Bei anderen treibt der Dampf den Kolben abwechſelnd nach einer und nach der entgegengeſetzten Richtung, und dieſe heißen Maſchinen mit doppelter Wirkung. In einigen Maſchinen iſt die Spannkraft des arbeitenden Dampfes um ein Geringes größer, als der Druck der Atmoſphäre, bei anderen überſteigt ihre Expanſivkraft dieſen Druck 2, 3, ja 10 und mehrmal. Erſtere nennt man Maſchinen mit niederem Drucke, letztere Maſchinen mit hohem Drucke. An einigen Dampfmaſchinen kann der Dampf aus dem Keſſel ſo lange in den Cylinder treten, als ſich der Kolben hebt oder ſenkt, bei anderen wird dieſer Zutritt gehemmt, wenn der Kolben etwa auf halbem Wege iſt, und der Expanſion des Dampfes die fernere Bewegung des Kolbens überlaſſen. Solche Maſchinen führen darum den Namen Expanſionsmaſchinen.

Wenn man eine Vorrichtung, bei welcher Waſſerdampf eine Bewegung hervorbringen, eine Dampfmaſchine nennen will, ſo iſt Hero von Alexandrien, der 120 Jahre v. Ch. lebte, der Erfinder derſelben: denn in der von ihm angegebenen Maſchine wird eine hohle mit Waſſerdampf gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausſtrömenden Dampfes in drehende Bewegung geſetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, ſo beginnt die Geſchichte der Dampfmaſchinen mit einem Patente, welches Savery, ein engliſcher Capitän, i. J. 1698 auf eine Maſchine erhielt, in welcher mittelſt Waſſerdampf die Luft aus einem Pumpenſtiefel vertrieben, und hierauf durch Abkühlen ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Waſſer aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporſtieg. Arago hält Caus für den Erfinder der Dampfmaſchine. Dieſe in jeder Hinſicht ſehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch Newcomen i. J. 1705 dadurch weſentlich verbeſſert, daß er über dem Dampfkeſſel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch den Dampf gehoben wurde, und wenn er den höchſten Punkt erreicht hatte und durch eingeſpritztes Waſſer die Dämpfe verdichtet waren, durch den Druck der Atmoſphäre wieder hinabſank. Durch abermaliges Zulaſſen des Dampfes konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten derſelben wieder zum Sinken gebracht, und ſo eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Anfangs mußte man den Hahn, welcher den Dampf in den Cylinder treten ließ oder ihm den Weg verſperrte, mit freier Hand bewegen, aber ein Knabe, Humphry Potter, der dieſem Geſchäfte keinen Geſchmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maſchine ſelbſt zu übertragen und führte ihn alſogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelſt Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieſer Verbeſſerung war die genannte Maſchine noch immer mangelhaft; insbeſondere verurſachte das Einſpritzen des Waſſers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine ſehr große Abkühlung. Dieſe vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht ſchloß, die Kolbenſtange durch eine Stopfbüchſe gehen ließ, und ſo der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des

Condenſators, der neben dem Cylinder befindlich, den Dampf von ihm aufnahm, und ſie durch eigens eingeſpritztes Waſſer verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Waſſer in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maſchine zu Arbeiten geeignet, bei denen nur ein Zug nach einer Richtung nöthig iſt, wie z. B. zum Waſſerheben, man konnte ſie aber nicht zum Betriebe von Maſchinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung des Dampfes nur einſeitig war. Watt ſetzte ſeinen Verbeſſerungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maſchinen baute, und ſie demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirte. Später hat er auch das Princip der Expanſion bei ſeinen Maſchinen angewendet. Eine Watt'ſche Dampfmaſchine mit doppelter Wirkung ſtellt Fig. 295 vor. Von der Röhre A kommt der Dampf durch a oder b mittelſt des Hahnes c in den Cylinder B, und bewegt den Kolben C, mit deſſen Stange E der Balancier F in Verbindung ſteht, welcher dem Schwungrade G ſeine Bewegung mittheilt. Der Dampf, welcher ausgedient hat, gelangt durch die Röhre d in den Condenſator H, welcher in einer Ciſterne M mit kaltem Waſſer ſteht, und dieſes durch den Injectionshahn e eingeſpritzt erhält. Das im Condenſator erwärmte Waſſer wird nebſt der entwickelten Luft durch die Pumpe I herausgepumpt, und ein Theil davon in den Behälter K gebracht, von wo es durch eine andere Pumpe f in den Dampfkeſſel gelangt, und zur Speiſung desſelben dient. Der Ciſterne führt die Pumpe L kaltes Waſſer zu. Alle dieſe Pumpen ſtehen mit dem Balancier in Verbindung, und werden durch ihn in Thätigkeit geſetzt. Bei der abgebildeten Stellung des Hahnes c gelangt der Dampf aus dem Keſſel unter den Kolben, und die über dem Kolben befindlichen in den Condenſator. Macht dieſer Hahn eine Viertelsdrehung, ſo bekommt er die Stellung, welche N zeigt, und dann können die Dämpfe unter den Kolben treten, und die über ihm befindlichen in den Condenſator gelangen.

Bei der Watt'ſchen Dampfmaſchine wirkt der Dampf ſelbſt in dem Falle, wo man ihn abſperrt, bevor noch der Kolben ſeine ganze Bewegung vollbracht hat, keineswegs mit aller Kraft, die er durch Expanſion auszuüben im Stande iſt. Um dieſe Kraft in ihrer ganzen Größe zu benützen, hat Woolf zwei Dampfcylinder mit einander verbunden, wie ſie Fig. 296 vorſtellt, deren einer 5—8mal mehr Capacität hat als der andere. Der Dampf kommt vom Dampfkeſſel zuerſt in den kleineren Cylinder, z. B. über den Kolben und drücken ihn hinab. Dabei gelangt der unter dem Kolben befindliche Dampf in den zweiten größeren Cylinder über den Kolben, und treibt dieſen durch jene Expanſion ebenfalls abwärts. Haben die Kolben ihren unterſten Platz erreicht, ſo wirkt der Dampf in dem erſten Cylinder von Unten, und der oberhalb desſelben befindliche wird unter den Kolben des zweiten Cylinders getrieben, um auch dieſen zu heben. Auf ähnliche Weiſe haben Aitkin und Steel drei Cylinder neben einander angebracht. Die Kraft, mit welcher der Dampf im größeren Cylinder bei ſeiner Ausdehnung wirkt, iſt reiner Gewinn. Alle dieſe Maſchinen ſind voluminös und ſchwer, und fordern einen großen Waſſervorrath zum Speiſen des Keſſels und zur Condenſirung des Dampfes. Man kann ſie daher nicht zu Bewegungen benützen, wo ſie ſelbſt ihren Ort ändern müſſen, wie z. B. zu Dampfwägen. Trevithick hat zuerſt in England und Evans in Amerika Maſchinen mit ſo hohem Drucke gebaut, daß man den Dampf aus dem Dampfcylinder unmittelbar in die Atmoſphäre hinauslaſſen und daher den Condenſator ganz entbehren konnte. Die Dampfmaſchine ſpielt nicht bloß in der Induſtrie eine ſehr wichtige Rolle, ſondern dient auch als Transportmit-

tel für Schiffe und Wägen. Zum Behufe der Dampfſchifffahrt wendet man in Europa allenthalben doppelt wirkende Condenſationsmaſchinen an, und läßt ſie unmittelbar auf Schaufelräder wirken, welche das Schiff fortrudern. Zur Bewegung von Wägen braucht man nur Hochdruckmaſchinen (Locomotive), die mittelſt Kurbeln auf die am Boden ſich ſtark reibenden Triebräder wirken, und dadurch die Laſt fortbewegen. Keſſel und Heizung ſind eigens und ſehr ſinnreich eingerichtet um ſchnell und hinreichenden Dampf von hoher Spannkraft erzeugen zu können. Unter den in neuerer Zeit verſuchten Verbeſſerungen der Dampfmaſchinen hat keine mehr Aufſehen erregt, als die von Perkins im Jahre 1823 bekannt gemachte, wiewohl über die eigentlichen Vortheile dieſer Maſchine noch bis zum heutigen Tage kein zuverläßiges Reſultat bekannt gemacht wurde. Perkins Dampfmaſchine hat keinen Dampfkeſſel, ſondern dafür ein im Feuer ſtehendes Gefäß von Kanonengut mit drei Zoll dicken Wänden, das er Generator nennt. Das Waſſer wird in dieſem Gefäße ſo erhitzt, daß es, wenn eine kleine Portion desſelben durch eine Druckpumpe herausgetrieben wird, Dämpfe liefert, die gegen einen Q. Zoll mit der Kraft von 500 Pferden drücken. Dieſe Dämpfe treten in einen 18 Z. langen, 2 Z. weiten Cylinder, und treiben den Kolben in einer Minute 200mal hin und her mit einer Kraft von 10 Pferden. Endlich muß noch einer Maſchine gedacht werden, in welcher man ſtatt der Waſſerdämpfe tropfbare Kohlenſäure anwendet, die unter gewiſſen Umſtänden ausdehnſam wird, und mit ungeheurer Kraft auf einen Kolben wirkt. Es iſt kein Zweifel, daß ſolche Maſchinen an Kraft alle ſogenannten Dampfmaſchinen weit übertreffen würden, wenn nicht beſondere Umſtände ihre Einrichtung ſchwierig machten.

250. Um den Effect einer Dampfmaſchine zu berechnen, braucht man nur die Expanſivkraft des Dampfes im Dampfcylinder und im Condenſator und die denſelben dargebotene Fläche des Kolbens zu kennen. Jene Expanſivkräfte erkennt man aus der Temperatur des Waſſers im Keſſel und im Condenſator, mittelſt der S. 149 mitgetheilten Tabelle. Bei den gewöhnlichen Maſchinen mit Condenſatoren erleidet der Kolben durch den Dampf einen Druck, welcher dem Drucke einer Queckſilberſäule gleich kommt, deren Baſis der gedrückten Kolbenfläche, deren Höhe dem Unterſchied der Expanſivkräfe des Dampfes im Keſſel und Condenſator gleich kommt. Bei Dampfmaſchinen ohne Condenſator hat man ſtatt des Gegendruckes des nicht verdichteten Dampfes den der Atmoſphäre zu ſetzen. Jener Druck wird aber keineswegs ganz zur Erzeugung der nützlichen Wirkung der Maſchine verwendet, ſondern es muß davon jener Theil abgezogen werden, welcher nöthig iſt, um der Reibung des Kolbens das Gleichgewicht zu halten, die Hilfspumpen und die Steurung zu bewegen; ein anderer Theil geht wegen der Abkühlung des Cylinders, wegen Beſchleunigung des Dampfes, wegen unvollkommener Condenſirung desſelben ꝛc. verloren. Der Reſt dient dann eigentlich als nützliche bewegende Kraft, und von dieſer hängt der Effect der Maſchine ab. Dieſen Effect ſchätzt man in der Regel durch das Gewicht reinen Waſſers, welches die Maſchine in einer Minute einen Fuß hoch hebt, oder, wiewohl minder zweckmäßig und weniger beſtimmt, nach der Anzahl der Pferde, deren Arbeit ſie verrichtet. Man nimmt da an, daß ein Pferd in 1 Sec.

400 Pfund 1 F. hoch heben kann. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß es bei einer Maſchine nicht allein auf den Effect, ſondern auch auf die Conſumtion des Brennmaterials ankommt, durch welche man ihn erzielt, und daß von zwei Maſchinen offenbar jene vorzuziehen ſeyn werde, welche denſelben Effect mit dem geringſten Bedarf an Brennmateriale leiſtet. Der Bedarf desſelben ſteht nicht immer mit den Leiſtungen einer Maſchine im geraden Verhältniſſe. Eine Maſchine mit der Kraft von hundert Pferden bedarf nicht zehnmal mehr Brennmaterial, als eine von zehn Pferdekräften, und Maſchinen mit hohem Drucke bedürfen nicht in demſelben Verhältniſſe mehr Brennſtoff als ſie mehr leiſten, ſind aber einem großen Dampfverluſte und mehr der Gefahr des Keſſelzerſpringens ausgeſetzt. Indeß kennt man heut zu Tage ziemlich zuverläßige Mittel, ſolchen Unglücksfällen vorzubeugen, wie z. B. die Anwendung gut unterhaltener Sicherheitsventile, Vermeidung der Ueberlaſtung derſelben, öfteres Befreien des Keſſels vom Pfannenſteine, den Gebrauch von Zapfen aus leicht flüſſigem Metalle, Vermeidung gußeiſerner Keſſel, vorzüglich zweckmäßige Einrichtung und öftere Unterſuchung der Waſſer zuführenden Pumpen. (Zeitſch. 7. 477. Pogg. Ann. 25. 596.) Durch Vervollkommnung der einzelnen Theile der Dampfmaſchinen hat man ungemeine Erſparungen an Brennmateriale ohne Beſchränkung der Leiſtungen erzielt.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin Mechanik B. 3. S. 344) eine Maſchine der beſten Art nach Watt's Conſtruction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15,760000 Pfd. Waſſer, im J. 1815 hatte man ſie ſchon ſo weit verbeſſert, daß dieſe Wirkung auf 20,766000 Pfd ſtieg, ja mittelſt einer nach Woolf's Princip conſtruirten Hochdruckmaſchine erlangte dieſe Wirkung die Größe von 46,255250 Pfd. In England hebt die beſte, nach alter Art conſtruirte Maſchine mit 1 Bushel (1.7 Metzen) Kohlen 40 Millionen Pfd. Waſſer 1 Fuß hoch. Eine neuere Maſchine hebt aber mit demſelben Kohlenbedarfe 61,774166. Bei einer von Groſe in Cornwallis erbauten Dampfmaſchine, die ihrer Güte wegen berühmt iſt, kommt dieſe Wirkung auf 92,327000 Pfd. und bei einer Maſchine, die in der Grube Fowey Conſols in Cornwallis arbeitet, gar auf 93,168124 Pfd. (*Phil. mag.* 2. 309. 7. 425. *Mech. Mag. N* 643.) Mit den i. J. 1823 in England gangbaren Dampfmaſchinen würde man die 186 Mill. Zentner wiegende ägyptiſche Pyramide, deren Bau 100,000 Menſchen durch zwanzig Jahre beſchäftigte, mit 36,000 Menſchen in achtzehn Stunden aufbauen können. Die 64 Dampfmaſchinen, welche man in Cornwallis allein zur Trockenlegung der Bergwerke anwendet, leiſten ſo viel, wie 448000 Pferde. — (Bernoulli Anfangsgründe der Dampfmaſchinenlehre. Baſel, 1834. Prechtl's Encyklopädie. Art. Dampf. Baumgartner's Mechanik Wien, 1834. S. 305.)

Viertes Kapitel.

Quellen der Wärme und Kälte.

251. Die Quellen der Wärme auf der Erde ſind: 1) Die Sonne. 2) Stoß und Reibung. 3) Chemiſche Wirkung. 4) Electricität. 5) Der Lebensprozeß.

252. Daß die Sonnenſtrahlen erwärmen, iſt eine Erfahrung, welche wahrſcheinlich mit dem Menſchengeſchlechte ein gleiches Alter hat; daß aber ihre erwärmende Kraft, unter übrigens gleichen Umſtänden, von den Körpern abhängt, die davon getroffen werden, iſt wahrſcheinlich eine viel jüngere Kenntniß, von deren Richtigkeit wir durch unzählige Erfahrungen überzeugt werden. Wenn man von zwei Thermometern, die ganz mit einander übereinſtimmen, die Kugel des einen ſchwärzt, und ſie dann beide in einen von der Sonne beſchienenen Ort bringt; ſo ſteht das Queckſilber in dem mit der geſchwärzten Kugel bedeutend höher als im anderen. Legt man Tuchlappen von verſchiedener Farbe über Schnee, und läßt ſie von der Sonne beſcheinen, ſo ſchmilzt der Schnee immer zuerſt unter den dunkleren Lappen. Schwarze Kleider ſind bei Sonnenſchein wärmer als lichte, ſchwarzes Holz erhitzt ſich im Sonnenlichte ſtärker als anderes. Geſchwärzte Eier kann man in der heißen Zone im Sande ſieden. Stellt man mehrere Glasſtürze über einander und bringt ſie in directes Sonnenlicht, nachdem man in dem inneren Raume des innerſten ein Thermometer aufgehängt hat; ſo findet man daſelbſt die Wärme viel größer als von Außen. Sauſſure hat auf dieſe Weiſe eine Erwärmung von 87° R. hervorgebracht, während die Temperatur der Atmoſphäre nur 20° R. betrug. Bei gleicher Beſchaffenheit der vom Lichte beſchienenen Körper hängt die Stärke der Erwärmung von der Dichte des auffallenden Lichtes und von der Beſchaffenheit der Körper ab, durch die es geht, bevor es den zu erwärmenden Stoff trifft. Nach Forbes verliert das Sonnenlicht beim Durchgange durch eine 6000 F. dicke Schichte der reinſten Luft nahe $^1/_5$tel ſeiner erwärmenden Kraft. Hieraus wird es begreiflich, wie man mittelſt Convexlinſen und Hohlſpiegel eine Temperatur hervorbringen kann, der faſt kein Körper zu widerſtehen vermag, warum ſolche Inſtrumente in großen Höhen beſſer wirken als in tiefer liegenden Gegenden. Nach Flaugergues erwärmen die Sonnenſtrahlen gleich ſtark, ſie mögen von der Mitte oder vom Rande der Sonnenſcheibe kommen.

Obiges Verhalten ſchwarzer Körper hat ſchon früher Pictet und neueſtens Leslie zur Beſtimmung der Intenſität des Lichtes angewendet. Wird nämlich an dem Differenzial-Thermometer von Leslie eine Kugel geſchwärzt, während die andere ihre natürliche Beſchaffenheit beibehält; ſo wird jene im Lichte mehr erwärmt als dieſe, wenn auch beide gleich ſtark beſchienen werden, und zwar iſt der Unterſchied der Erwärmung, welcher ſich aus dem Stande der Flüſſigkeit im Thermometer abnehmen läßt, deſto größer, je intenſiver das Licht auf die Kugeln wirkt, und man ſetzt den Unterſchied zwiſchen den ſtationären Temperaturen beider Kugeln der Intenſität des Lichtes proportional. Dieſes Inſtrument iſt demnach ein Photometer. Mittelſt deſſen fand Leslie das Sonnenlicht 12000mal ſtärker als das einer Wachskerze. Aber nach Herſchels wohlbegründetem Urtheile beruht dieſes Verfahren auf einem falſchen Principe, weil die ſtillſtehende Temperatur eben ſo gut die erkaltende als die erwärmende Einwirkung auf das Thermometer mißt. Die erwärmende Kraft der Sonne kann man nur durch Beſtimmung der Wärmemenge, die in einer gegebenen

Zeit einer den directen Strahlen ausgeſetzten Fläche von derſelben zugeführt wird, meſſen. Zu dieſem Behufe braucht Herſchel ein Inſtrument, das einem Thermometer ähnlich iſt, nur hat es einen größeren farbloſen Behälter, der mit einer intenſiv blauen Flüſſigkeit gefüllt iſt, damit die Lichtabſorption im Innern vor ſich gehe, und eine in willkürliche aber gleiche Theile getheilte Scale. Will man dieſes Inſtrument brauchen, ſo hängt man es zuerſt eine Minute lang frei in den Schatten, und beobachtet die Veränderung ſeines Standes, hierauf eben ſo lang in die Sonne, und bemerkt abermals die Veränderung ſeines Standes; endlich bringt man es wieder in den Schatten, und beobachtet ſeinen Stand wieder. Man hat nun zwei Veränderungen im Schatten und eine im Sonnenſchein. Das Mittel aus den zwei erſten von der im Sonnenſcheine abgezogen, gibt die von den Sonnenſtrahlen während einer Minute bewirkte Ausdehnung der Flüſſigkeit. Herſchel nennt dieſes Inſtrument Actinometer. (Pogg. Ann. 32. 661. Kurzer Bericht von Verſuchen und Inſtrumenten, die ſich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von John Leslie. Leipzig, 1823. S. 123, S. 58 u. ſ. w.)

253. Leitet man Sonnenlicht durch ein dreiſeitiges Prisma von Steinſalz, ſo erhält man zugleich ein Licht- und Wärmeſpectrum, und in letzterem iſt wegen der vollkommenen Diathermanſie des Steinſalzes die Wärme ſo vertheilt, wie es die Natur der Sache mit ſich bringt. Man findet da, daß die Wärme von dem violetten Theile zum rothen hin zunimmt, daß aber das Wärmeſpectrum um $^1/_3$tel des Lichtſpectrums über den rothen Theil hinausreicht. Das Maximum der Wärme herrſcht außerhalb des Roth in einer beträchtlichen Entfernung von der äußerſten Grenze desſelben. Prismen aus minder vollkommen diathermanen Stoffen geben nur, wenn ſie die Strahlen nahe an der Kante des brechenden Winkels auffangen, mithin dort, wo die Dicke des Prisma's ſehr gering iſt, dieſelbe Wärmevertheilung wie ein Steinſalzprisma; in einer größeren Entfernung von dieſer Kante hat der Grad der Diathermanſie Einfluß auf dieſe Vertheilung, und ſie iſt verſchieden nach Maßgabe der Natur des Prisma, ſeiner Dicke und ſeines brechenden Winkels. Da die brechbaren Wärmeſtrahlen zugleich die leichter abſorbirbaren ſind, ſo führen nicht vollkommen diathermane Prismen die wärmſte Stelle näher ans Violett.

Ein Prisma von blauem Kobaltglas ändert das Lichtſpectrum ſehr ſtark, und erzeugt, indem es gewiſſe Lichtſtrahlen auslöſcht, abwechſelnd lichte und dunkle Zonen in demſelben, liefert aber ein Wärmeſpectrum mit regelmäßig und ſtetig abnehmender Wärme zu beiden Seiten des Wärmemaximums. Ein aus Waſſer und einem mit Kupferoxyd gefärbten Glaſe gebildetes Prisma liefert ein Lichtſpectrum ohne Wärme, und eines aus ſchwarzem Glaſe ein Wärmeſpectrum ohne Licht. Nach Seebeck fällt die wärmſte Stelle des Spectrums außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas beſteht, hingegen in das Roth ſelbſt, wenn das Prisma aus Crownglas oder aus gewöhnlichem weißen Glaſe gemacht iſt, oder gar in Gelb bei einem durch Glasſcheiben gebildeten, mit Waſſer, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwiſchen Roth und Gelb, wenn dieſes hohle Prisma mit ſtarker farbloſer Schwefelſäure oder mit einer klaren Löſung von Queckſilberſublimat gefüllt iſt. Man kann die am meiſten erwärmende Stelle im Farbenbilde leicht entdecken, wenn man eine Sammellinſe von ſehr großer

Oeffnung in der Mitte mit einer Papierſcheibe deckt (ſo, daß nur ein Ring von ihr übrig bleibt, der ein kreisförmig gebogenes, dreiſeitiges Prisma vorſtellt), auf dieſe Linſe directes Sonnenlicht fallen läßt, und das hinter ihr entſtehende kreisförmige Spectrum auf ein mit Wachs überzogenes Papier fallen läßt. Da wo die Erwärmung am ſtärkſten iſt, fängt das Wachs zuerſt zu ſchmelzen an. Den Strahlen der Sonne analog verhalten ſich auch die anderer leuchtenden Körper. (Herſchel's Unterſuchungen über die Natur der Sonnenſtrahlen. Celle, 1801. Seebeck über die Wärme im prismatiſchen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin 1810. S. 393 u. ſ. w. Melloni in Pogg. Ann. 39. 558.) — Außer der erwärmenden Wirkung der Sonnenſtrahlen bemerkte Scheele noch eine andere, welche dem farbigen Lichte zukommt. Er fand nämlich, daß ein Papier, welches mit Chlorſilber, das in Geſtalt eines weißen Salzes erſcheint, beſtrichen iſt, im rothen Strahle gar nicht geändert, im violetten hingegen vorzüglich ſtark geſchwärzt wird. Dieſe Wirkung kommt dem Lichte rein als ſolchem zu, und fehlt dort ganz, wo das Licht ſeiner leuchtenden Kraft beraubt wird. (Vergl. S. 379.) Seebeck machte die Erfahrung, daß das Chlorſilber im rothen Lichte in dem Theile des prismatiſchen Farbenbildes, wo die ſtärkſte Hitze herrſcht, roſenroth gefärbt werde, und überzeugte ſich, daß Sonnenlicht, welches durch ein farbiges Glas geht, dieſelben Wirkungen hervorbringe, wie das gleichfarbige Licht im Farbenbilde. Die Röthung des Chlorſilbers ſoll da ſogar noch ſchneller erfolgen, als im Farbenbilde. Setzt man ein Gemenge von Chlorgas und Waſſerſtoffgas directen violetten Sonnenſtrahlen aus, ſo erfolgt ihre Verbindung plötzlich mit einer ſtarken Exploſion. Weißes Sonnenlicht wirkt ebenfalls, aber nur wegen ſeines violetten Antheils (1). Nach Heßler (Zeitſch. n. F. 3. 336) hängt die das Chlorſilber ſchwärzende (reducirende) Kraft des farbigen Lichtes auch von der Materie des Prisma's ab, welches das Spectrum liefert. Man will überdieß noch andere Erſcheinungen aufgefunden haben, welche einen Gegenſatz zwiſchen den chemiſchen Wirkungen an den beiden Enden des Farbenbildes darthun ſollen, allein man kann hierüber noch keineswegs mit voller Sicherheit urtheilen. Melloni unterſcheidet dreierlei Sonnenſtrahlen, leuchtende, erwärmende und chemiſchwirkende, und für jede Gattung gibt es eigene Geſetze der Transmiſſion. Dunkelrothes Glas läßt nur ſehr wenige chemiſchwirkende Strahlen durch, grüner Glimmer und dunkelrother Granat fängt ſie ganz auf. Weißer Topas und lichtblauer Beryll, ſo wie Cyanit, Schwerſpath, laſſen dieſe Strahlen reichlich durch. Heller Beryll abſorbirt ſie faſt alle.

254. Wenn man auf einen feſten Körper einen ſchnellen Stoß ausübt, ſo wird er in der Regel erwärmt. Percuſſionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallſalze entzünden ſich ſchon beim geringſten Stoße; eine Eiſenſtange kann durch bloßes Hämmern bis zum Glühen erhitzt werden. Durch den Stoß eines Stahlſtückes gegen einen harten Stein werden Theile von erſterem abgeſchlagen und zum Glühen gebracht, daher ſie als Feuerfunken erſcheinen. Bei dem gewöhnlichen Feuerſchlagen bedienen wir uns dieſes Mittels. Die Luft, auf ein Fünftel ihres Volums ſchnell zuſammengedrückt, erhitzt ſich ſo ſehr, daß ſie einen Feuerſchwamm anzuzünden vermag (wozu eine Temperatur von nahe 288° C. gehört), wie man dieſes beſonders am ſogenannten Luftfeuerzeuge (einem einerſeits

geſchloſſenen, hohlen Cylinder mit einem luftdicht ſchließenden Kolben) ſieht. Aehnliche Wirkungen bringt die Reibung hervor. Eiſerne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, erwärmen ſich beim Gebrauche, ein Mühlſtein kann ſich beim Leergehen bis zur Entzündung des Holzwerkes erhitzen, an ungeſchmierten Wagenaxen und an Zapfen ſchnell bewegter Maſchinenräder geſchieht dasſelbe. Zwei Stücke Holz kann man durch Aneinanderreiben in Flammen ſetzen. Ein Radſchuh wird beim Gebrauche ſo heiß, daß man ihn nicht ungeſtraft berühren darf.

Nach Rumford kann man durch Reibung eine unbeſchränkte Wärmemenge entwickeln. Als ein meſſigener Cylinder in einer Höhlung, die 18 Pfd. Waſſer enthielt, ſo ſchnell herumgedreht wurde, daß er in einer Minute 32 Umdrehungen machte, ſtieg die Temperatur des Waſſers in einer Stunde von 60° F. bis 130°, und in zwei Stunden bis zur Siedhitze. Davy rieb im leeren Raume bei 0° C. zwei Eisſtücke an einander, und brachte ſie dadurch zum Schmelzen. Merkwürdig iſt die von Pictet gemachte Erfahrung, daß manche weiche Subſtanzen beim Reiben mehr Wärme entwickeln, als harte.

255. Die durch Stoßen erzeugte Wärmeentwicklung hat ihren Grund in der dadurch bewirkten Verdichtung der Körper, mithin in der Verminderung ihrer Capacität. Daß bei dieſer Operation eine Verdichtung eintrete, iſt theils aus der Natur der Sache erſichtlich, theils durch directe Verſuche erweislich. Ein Metall hat immer nach dem Hämmern eine größere Dichte als vor demſelben (Tabelle auf Seite 109). Die Wärmemenge, welche durch Compreſſion eines Gaſes entwickelt wird, kann man nach dieſem Principe ſogar berechnen. Sie iſt nämlich ſo groß als diejenige, die das Gas braucht, um ſein voriges Volum wieder zu erlangen. Ein feſter Körper erwärmt ſich durch Stoßen nnr ſo lange, als er dadurch verdichtet wird. Hat er einmal eine gewiſſe Dichte erreicht, ſo kann er durch die Kraft, wodurch er ſie erreichte, nicht weiter verdichtet werden, und ſie iſt auch nicht weiter im Stande ihn zu erwärmen. Darum wird ein Körper auch durch den erſten Stoß mehr erwärmt als durch einen zweiten ꝛc. Körper, welche durch die uns zu Gebote ſtehenden Kräfte nicht ſtark verdichtet werden können, erhitzen ſich auch durch Stöße nur unbedeutend; darum wird eine tropfbare Flüſſigkeit durch Stöße nicht merklich erwärmt. Den inneren Verlauf der Sache bei der Wärmeerregung durch Reibung kennt man keineswegs ſo gut, wie den beim Stoße. Mit der Reibung ſcheint zwar die Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten, und nach Moroſi wächſt die Wärme mit der Dauer der Reibung, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe als dieſe Dauer; aber man kann nicht annehmen, daß die ſich reibenden Körper ſo lange an Dichte zunehmen, als die Reibung anhält, wiewohl anfangs eine Verdichtung Statt haben mag. Die Wärmeerregung iſt zwar deſto intenſiver, je mehr die ſich reibenden Körper zuſammengedrückt werden, aber auch bei einem ſehr ſanften Drucke kann man bei hinlänglicher Geſchwindigkeit eine ſtarke Erwärmung zu Stande bringen.

Heißt die Wärmemenge, die ein Gas bei dem um $^1/_{274}$ verminderten Volum hat $= 1$, die beim urſprünglichen Volum $= 1 + x$, ſo iſt $1 + x$

zu 1, wie die Capacität C unter conſtantem Drucke, zur Capacität c unter conſtantem Volum. Es iſt aber für chemiſch einfache Gaſe $\frac{C}{c} = 1.421$, mithin $1 + x : 1 = 1.421 : 1$, und daher die bei der Compreſſion um $^1/_{274}$ des urſprünglichen Volums bei 0° C. entwickelte Wärmemenge $x = 0.421$. Für zuſammengeſetzte Gaſe iſt dieſe Wärmemenge eine andere als für einfache, doch ſcheint ſie wieder für alle zuſammengeſetzte gleich zu ſeyn, und 0.337 der beim urſprünglichen Volum vorhandenen Wärmemenge zu betragen. Kennt man einmal die durch Compreſſion von $^1/_{274}$ entwickelte Wärmemenge, ſo läßt ſich die für jede andere Compreſſion berechnen, indem ſie mit der Compreſſion gleichen Schritt hält. Die aus dieſer Wärmeentwicklung hervorgehende Erwärmung ſteht im verkehrten Verhältniſſe mit der ſpecifiſchen Wärme des Gaſes. Nach Berthollet erhitzte ſich eine Silberplatte durch den erſten Stoß eines Stempels um 9°.6 C, durch den zweiten um 4°.06, durch den dritten um 1°06. Für eine Kupferplatte betrug dieſe Temperaturerhöhung 1°.56, 2°.60, 0°81.

256. Es iſt leicht einzuſehen, daß, weil durch Verdichtung der Körper Wärme entſteht, ihre Verdünnung die Quelle von Kälte werden müſſe. Legt man ein dünnes Streifchen Kautſchouk auf die Lippen, und verdünnt es durch einen ſchnellen Zug; ſo empfindet man die dabei Statt habende Erkaltung. Verdichtet man Luft in einem Gefäße ſehr ſtark, läßt ſie hierauf bis zur Temperatur der Atmoſphäre abkühlen und dann durch eine kleine Oeffnung herausdringen; ſo erkaltet ſie ſich dabei ſo ſehr, daß ſie Waſſer in einer kleinen Glaskugel zum Gefrieren zu bringen vermag. Es wird aber dazu erfordert, daß nicht bloß die herausdringende, ſondern auch die im Gefäße zurückbleibende Luft dünner werde. Die ſtark geſpannten, aus einem Dampfkeſſel ins Freie herausſtrömenden Dünſte fühlen ſich kalt an. Läßt man ſtark verdichtetes Gas in einen langen Cylinder überſtrömen, ſo erwärmt ſich dieſer an dem Ende, wo das Gas einſtrömt, und erkältet ſich am entgegengeſetzten.

257. Durch chemiſche Einwirkung der Stoffe auf einander wird faſt immer Wärme oder Kälte erzeugt. Dieſes wird wohl begreiflich, wenn man bedenkt, daß mit der chemiſchen Miſchung und Scheidung faſt immer Aenderungen im Aggregationszuſtande der Körper und in ihren Capacitäten vorgehen. Hieher gehörige Beiſpiele gibt es unzählige. Lebendiger Kalk und Schwefelſäure erhitzen ſich mit Waſſer. Kalk, Baryt und Strontian können durch Beimiſchung von Schwefelſäure gar glühend werden, Terpentinöhl wird durch ſtarke Salpeterſäure bis zur Entzündung erhitzt, chlorſaures Kali gibt in Berührung mit Schwefelſäure eine bedeutende Hitze. Weingeiſt erwärmt ſich mit Waſſer ꝛc. ꝛc. Die meiſten bei chemiſchen Wirkungen eintretenden Erwärmungen haben ihren Grund in einer Verdichtung der Körper.

Hierauf beruhen auch die ſogenannten kaltmachenden Miſchungen. Bei einer Miſchung von fällt die Temperatur

3	Th.	Salmiak, 5 Salpeter, 16 Waſſer	von	+ 10°	bis	— 10° R.
3	»	Glauberſalz, 2 Salpeterſäure	»	10	»	— 12
8	»	» 5 Salzſäure	»	10	»	— 14
1	»	Schnee, 1 Kochſalz	»	0	»	— 14
3	»	ſalzſaurem Kalk, 2 Schnee	»	0	»	— 36
1	»	Schnee, 1 Schwefelſäure	»	— 5	»	— 41
1	»	» 1 Salpeterſäure	»	— 14	»	— 35
2	»	ſalzſaurem Kalk, 1 Schnee	»	— 14	»	— 44.

Die Aenderungen der Temperatur bei chemiſchen Prozeſſen und bei der Aenderung des Aggregationszuſtandes eines Körpers ſind gewöhnlich ſehr bedeutend, und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber ſolche Aenderungen, die nur in einem ſehr geringen Grade, und zwar dann Statt finden, wenn feſte Körper von Flüſſigkeiten benetzt, oder wenn flüſſige Stoffe eingeſogen werden, ſo daß man das Benetzen und Eingeſogenwerden gleichſam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers anſehen kann. — Die erſten Erfahrungen im Reiche dieſer Phänomene machte Pouillet mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°.01 C. bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einſaugen immer Wärme frei werde. Iſt die netzende Flüſſigkeit Waſſer, ſo iſt für alle unorganiſche Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von $^{1}/_{4}$° bis $^{1}/_{2}$° enthalten, es finden aber faſt dieſelben Grenzen Statt, wenn man ſtatt Waſſer, Oehle, Alkohol, Eſſigäther nimmt. Bei der Abſorption iſt die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht vorausſehen kann, wenn man bedenkt, das Abſorption eigentlich ein verſtärktes Benetzen iſt. (Schweigg. J. 36. 193.)

258. Von der Wärmeentwicklung durch Electricität wird in der Electricitätslehre beſonders gehandelt, und über die vom Lebensprozeß bedingte kann hier nur wenig geſagt werden. Der Lebensprozeß erzeugt auf eine auf phyſikaliſchem Wege unerklärliche Weiſe fortwährend Wärme. Ein Theil dieſer Wärme kommt allerdings auf Rechnung der Luftzerſetzung beim Athmen, der Aſſimilation der Nahrungsmittel und der ſteten Verwandlung der Stoffe; allein dieſes reicht bei weitem nicht hin, das Phänomen der vitalen Wärmeentwicklung ganz zu erklären. Der Menſch hat eine von der Temperatur ſeines Mittels faſt ganz unabhängige Wärme; was vom Wärmeüberfluſſe nicht in ſeine Umgebung abfließen kann, wird zur Schweißbildung verwendet, und den zu ſtarken Abfluß bei großer Kälte erſetzt ſein Organismus bis zu einer gewiſſen Grenze durch geſteigerte Thätigkeit. Etwas Aehnliches findet bei vielen Thieren Statt, ja ſelbſt in der Pflanzenwelt ſcheint mit der Lebensthätigkeit Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten.

Fünftes Kapitel.

Wärme in Verbindung mit Licht.

259. Man kann jeden Körper durch bloßes Erwärmen zum Leuchten bringen; ſelbſt ſolche Körper, die bei einer gewiſſen Temperatur

eine chemiſche Zerſetzung erleiden, entziehen ſich dieſem Geſetze nicht, wenn man ſie in verſchloſſenen, hinreichend feſten Gefäßen behandelt, die das Entweichen der ausdehnſamen Stoffe, welche bei der Zerſetzung entſtehen, verhindern. Wiewohl es wahrſcheinlich iſt, daß alle Körper ſchon bei einer geringen Temperaturerhöhung leuchten, und daß dieſes Licht nur zu ſchwach ſey, um durch unſere, an das ſtarke Sonnenlicht gewöhnten Augen wahrgenommen werden zu können, wie vorzüglich die von Dizé angeſtellten Verſuche (Gilb. Ann. 4. 410) zu beweiſen ſcheinen; ſo gibt es doch nur eine beſtimmte Temperatur, bei welcher ſie in einem für uns wahrnehmbaren Grade Licht ausſenden.

Nach Pouillet entſpricht dem anfangenden Rothglühen eine Temperatur von 525°, dem Dunkelroth 700°, dem anfangenden Kirſchroth 800°, dem Kirſchroth 900°, dem hellen Kirſchroth 1000°, dem dunklen Orange 1100°, dem hellen Orange 1200°, dem Weißglühen 1300°, dem hellen Weiß 1400°, dem blendenden Weiß 1500° — 1600° C.

260. Licht- und Wärmeentwicklungen finden vorzüglich bei energiſch vor ſich gehenden chemiſchen Prozeſſen Statt. Wiewohl es Fälle gibt, wo derlei Entwicklungen eintreten, wenn ein Stoff in ſeine chemiſchen Beſtandtheile zerfällt (wie z. B. beim Chlorſtickſtoff, der unter Wärme- und Lichterſcheinungen in Chlor und Stickſtoff zerfällt, beim Waſſerſtoffſuperoxyd, Jodſtickſtoff, den Oxyden des Chlor ꝛc.), ſo treten dieſe doch ohne Vergleich öfter bei chemiſchen Verbindungen ein. Ein ſolcher Verbindungsprozeß von Stoffen, der mit Licht- und Wärmeentwicklung verbunden iſt, iſt das Verbrennen. Es gibt zwar auch ein Verbrennen, wo nur Wärme ohne Licht erſcheint, ſo wie ein anderes, wo nur Licht ohne Wärme auftritt, von dieſen iſt aber hier nicht die Rede. Zum Verbrennen gehören demnach wenigſtens zwei Körper, wovon einer, nach der gewöhnlichen Vorſtellungsweiſe, das Verbrennen erleidet, und deßhalb das Brennmateriale, der Brennſtoff oder der brennbare Körper heißt, während der andere das Verbrennen von jenem bewirkt, und feuernährender oder Zünd-Körper genannt wird. Derſelbe Körper ſpielt beim Verbrennen nicht immer dieſelbe Rolle, und er kann bald als Brennſtoff, bald als Zündſtoff auftreten. So iſt z. B. Schwefel gegen Kupfer Zündſtoff, gegen Sauerſtoff Brennſtoff, Chlor iſt gegen Phosphor, Wismuth, Antimon und andere Metalle (Böttger in Pogg. Ann. 43. 660) Zündkörper, aber nicht gegen Stickſtoff. Der vorzüglichſte Zündkörper iſt der Sauerſtoff, daher man auch gewöhnlich unter Verbrennen die mit Wärme- und Lichtentwicklung verbundene Vereinigung des Sauerſtoffes mit irgend einem Körper verſteht, und im gemeinen Leben nur jene Körper brennbar nennt, welche ſich gegen den Sauerſtoff als Brennſtoffe verhalten.

261. Sollen zwei Stoffe den Verbrennungsprozeß hervorbringen, ſo müſſen ſie nicht bloß eine große Verwandtſchaft zu einander haben, ſondern ſich auch unter günſtigen Umſtänden befinden. Das Phänomen des Verbrennens findet immer nur, wie jede chemiſchen Verbindung, bei einem beſtimmten Wärmegrade Statt. Bei manchem Kör-

per reicht dazu ſchon die gewöhnliche Lufttemperatur, oft ſelbſt die Wintertemperatur hin, und dieſe entzünden ſich daher von ſelbſt, ſobald ſie in die Luft oder in Sauerſtoffgas kommen. Man nennt ſie Pyrophore, Selbſtzünder (z. B. Kalialaun mit Kohlenpulver geglüht, $2\frac{1}{2}$ Gewichtstheile reine des Kryſtalliſationswaſſers beraubte Weinſteinſäure mit 8 Theilen Bleiſuperoxyd gerieben ꝛc. ꝛc.). Die meiſten brauchen aber dazu eine höhere Temperatur als in der Atmoſphäre vorkommt, und man muß ſie daher erhitzen. Die Größe der erforderlichen Erhitzung iſt für verſchiedene Körper und ſelbſt für dieſelben Körper unter verſchiedenen Verhältniſſen verſchieden; in der Regel brauchen ausdehnſame Stoffe eine größere Erhitzung als feſte oder tropfbare, compacte Körper eine größere als poröſe und fein zertheilte; bei den meiſten Körpern wird das Verbrennen durch Vermehrung der Berührungspunkte mit dem Zündſtoffe befördert, bei einigen aber tritt das Gegentheil ein. Manche Stoffe laſſen ſich durch Tränken in Salzauflöſungen dahin bringen, daß ſie gar nicht brennen. Von dieſer Art iſt Schafwolle in Salzſoole getränkt. Da dieſe zugleich ein ſchlechter Wärmeleiter iſt, ſo eignet ſie ſich beſonders zu feuerabhaltenden Gewändern, darum ſie auch von Aldini zu dieſem Behufe empfohlen worden iſt.

Phosphor brennt ſchon bei $37\frac{1}{2}$°, Schwefel bei 294°, Waſſerſtoffgas bei 300° C., öhlbildendes Gas bei einer noch höheren Temperatur. Die poröſe Kohle, wie ſie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entſteht, entzündet ſich ſchon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kieſel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen in atmoſphäriſcher Luft, ja ſelbſt im Sauerſtoffgaſe unentzündlich iſt. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmoſphäriſchen Luft entzündet, vermag dieſes nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewiſſen Grad verdünnt iſt, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspunkte zwiſchen dem Brennſtoffe und dem Sauerſtoffe fehlt. Nach Davy läßt ſich ein Gemenge aus 2 Rtheilen Waſſerſtoffgas und 1 Rth. Sauerſtoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus 2 Rtheilen Hydrogengas und 5 Rtheilen atmoſphäriſcher Luft beſtehendes, bei einer ſechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den electriſchen Funken anzünden. In der atmoſphäriſchen Luft läßt ſich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerſtoffgaſe (Davy in Gilb. Ann. 56. 150); Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit einem gepulverten Körper, z. B. Schwefel, Holzkohle, Platinſchwamm, Antimon, Arſenik, Zinnober, Kalk, Salpeter, Flußſpath, Borſäure ꝛc. beſtreut, entzündet ſich hingegen leichter in verdünnter Luft als in der von natürlicher Dichte. Lampenſchwarz erzeugt die Entzündung des Phosphors ſchon in freier Luft. (Blache in Pogg. Ann. 23. 151.) Ein Gemenge von Phosphorwaſſerſtoffgas und atmoſphäriſcher Luft entzündet ſich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einen geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck iſt.

262. Die zur Einleitung des Verbrennungsprozeſſes nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden, und es iſt für das Verbrennen ſelbſt einerlei, aus welcher Wärmequelle man ſchöpft. Man zündet oft Schwamm durch con-

centrirtes Sonnenlicht, unſere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem ſchon brennenden Körper an, bei den ſogenannten chemiſchen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorſaurem Kali überzogen ſind und in Schwefelſäure getaucht werden) iſt es ein chemiſcher Prozeß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei anderen Zündmaſchinen wirkt ein electriſcher Funke, beim Feuerſchlagen der Stoß, die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander bis ſie brennen. Manche poröſe Körper verdichten einige Gaſe ſo ſtark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieſes iſt z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen, nach Hare auch mit Asbeſt oder Holzkohle (welche man unter einem luftleeren Recipienten in eine Löſung von Chlorplatin getaucht, dann 24 St. getrocknet und zuletzt geglüht hat) der Fall, die Knallgas, wenn es ganz frei von Kohlenoxyd und öhlbildendem Gas iſt, bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können. (Pogg. Ann. 17. 101; 31. 512; 39. 385.) Etwas Aehnliches ſcheint bei gepulverten Kohlen die Selbſtentzündung zu bewirken. (Zeitſch. 9. 228. Vergleiche *Phil. Mag. Aug.* 1833, *p.* 89, oder Heßler's Jahrb. 1. Jahrgang S. 57.) Wird Eiſenoxyd durch Waſſerſtoffgas zu Eiſen reducirt, ſo erſcheint letzteres als gepulverte Maſſe, die ſich in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft ſchnell entzündet.

263. Der auf ſolche Weiſe einmal angefachte Verbrennungsprozeß dauert unter günſtigen Umſtänden fort, und es entwickelt ſich ohne äußere Beihilfe Licht und Wärme, ja letztere iſt es eigentlich, wodurch das Verbrennen unterhalten wird. Es gibt aber doch Fälle, wo ein Körper zwar nicht die zu ſeinem mit Lichtentwicklung verbundenen Verbrennen nöthige Wärme entwickelt, aber einen anderen dadurch glühend erhalten kann. Von der Art iſt Alkohol. Wird über dem Dochte eines Alkohollämpchens ein ſpiralförmig gewundener dünner Platindraht, oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet, und, wenn das Platin glüht, wieder ausgelöſcht; ſo kann letzteres durch das fortgeſetzte langſame Verbrennen des Alkohols glühend erhalten werden. Ein ſolches Lämpchen heißt Glühlämpchen. Während dieſer Licht- und Wärmeentwicklung erleidet der verbrennende Körper eine gänzliche Aenderung ſeiner Natur. Oft verbindet er ſich bloß mit dem Zündſtoffe und es bleibt nach beendigtem Prozeſſe das Product dieſer Verbindung zurück, oder es wird unter einem verflüchtiget. So wird Eiſen beim Verbrennen in Eiſenoxyd, Kohlenſtoff in Kohlenſäuregas verwandelt. Viele Körper, wie z. B. alle organiſchen, erleiden aber dabei eine Zerſetzung; ein Theil verbrennt, der andere bleibt als unverbrennbare Maſſe zurück. Dieſe bilden die Aſche, die Schlacken rc. Aus der Verflüchtigung der Verbrennungsproducte erklärt ſich der eigenthümliche Geruch, den einige Körper, wie z. B. Federn, Klauen rc. beim Verbrennen verbreiten. Uebrigens ſind dieſe Producte ſelbſt bei demſelben Körper nach dem beim Verbrennen herrſchenden Hitzegrade verſchieden.

264. Zur Fortdauer des Verbrennungsprozeſſes iſt nothwendig,

daß der Brennſtoff mit Sauerſtoff in Berührung ſtehe, daß dieſer fortwährend mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit zuſtröme, und den Brennſtoff an hinreichend vielen Punkten berühre, daß die flüchtigen Verbrennungsproducte oder die des Sauerſtoffes beraubte Luft entweichen könne, und daß dem brennenden Körper nicht zu viel Wärme durch das Verbrennungsproduct, durch zu ſchnelles Zuführen von Zündſtoff, durch Ausſtrahlen oder durch die Umgebung entzogen werde. Die beim Verbrennen entwickelte Wärme erregt ſchon für ſich einen Luftſtrom, wodurch atm. Luft zugeführt und die des Sauerſtoffes beraubte zum Aufſteigen gezwungen wird, ſo daß der dadurch entſtehende leere Raum durch andere Luft erfüllt werden muß; allein in vielen Fällen genügt dieſer Luftzug nicht, um dem Verbrennungsprozeſſe die nöthige Lebhaftigkeit zu verleihen, und man muß einen künſtlichen Luftſtrom herbeiſchaffen. Dieſes geſchieht durch Blasbälge, Fächer, oft auch ſchon dadurch, daß man den brennenden Körper mit einer Röhre umgibt, und ſo die aufſteigende Luft zwingt, eine größere Geſchwindigkeit anzunehmen. Doch muß dieſer Luftſtrom der Größe des brennenden Körpers angemeſſen ſeyn, damit nicht etwa die Lufttheile beim brennenden Körper ſchneller vorbeigeführt werden, als ſie die nöthige Wärme erlangt haben. Darum kann man einen brennenden Körper ausblaſen; darum verkleinert ſich in einer Lampe die Flamme, wenn man ſie mit einem zu hohen oder zu engen Zugrohre umgibt, und dadurch die Geſchwindigkeit des Luftſtromes zu ſehr erhöht; darum brennt comprimirtes Gas, das aus dem Gasbehälter herausſtrömt, nur bei einer beſtimmten Ausflußöffnung. Wenn man den Zutritt von Sauerſtoffgas hindert, ſo hört der Verbrennungsprozeß auf. Dieſes geſchieht oft durch luftdichte Einhüllung des brennenden Körpers, mit Waſſer, Aſche ꝛc., durch eine dem Verbrennen nicht günſtige Luft, z. B. durch ſchwefligſaures Gas, ja ſogar durch brennbare Körper, die den Abfluß der zur Unterhaltung nicht mehr geeigneten Luft erſchweren, wie z. B. Häckerlinge. Hierauf beruht der Nutzen aller gegen Feuer ſichernden Anſtriche, aller Feuerlöſchmittel ꝛc.

Man braucht nach Clément zum vollkommenen Verbrennen von

1 Pfd. trockenen Holzes	4.58	Pfd. atm. Luft oder	1.0579	Sauerſtoffgas,
1 » Holzkohle . .	11.00	» — —	2.541	—
1 » gewöhnliche Kohle	13.94	» — —	3.220	—

Beim gewöhnlichen Verbrennen wird nicht aller Sauerſtoff der Luft conſumirt, ſondern er entweicht zum Theil mit dem Stickgaſe und der kohlenſauren Luft, daher braucht man zum vollkommenen Verbrennen faſt $^2/_3$ mehr Luft, als oben angegeben wurde. — Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspunkten zwiſchen Brenn- und Zündſtoff erklären es, warum jeder Körper verliſcht, wenn er in atmoſphäriſche, bis zu einem gewiſſen Grade verdünnte Luft kommt. So verliſcht Waſſerſtoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Waſſerſtoffphosphorid blitzt noch in möglichſt verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeſchloſſenen Portion atm. Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Waſſerſtoffgas, Schwefel und Phosphor anzündet; ſo verliſcht zuerſt die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor. Wenn einem brennenden Körper ſo viel

Wärme entriſſen wird, daß der Reſt nicht hinreicht, ſein Brennen zu unterhalten, ſo verliſcht er. Darum hört eine glühende Kohle auf zu brennen, wenn man ſie auf ein großes, kaltes Stück Eiſen legt; ja ein Hauſe brennender Kohlen verliſcht, wenn man die einzelnen Kohlen aus einander breitet; deßhalb brennen Flammen nicht durch ein Drahtſieb von beſtimmter Feinheit des Geflechtes. So z. B. brennt eine Weingeiſtflamme nicht mehr durch ein ſolches Sieb, wenn 100 Oeffnungen auf den Q. Zoll desſelben kommen, wohl aber Waſſerſtoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, ſiebartig geflochtenen Metalldrahte), mit der man ſich in Oerter wagen darf, wo Knallluft enthalten iſt, ohne befürchten zu dürfen, daß ſich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergl. Libri in Zeitſch. 3. 204.) Eine Laterne, mit Drahtgeflecht umgeben, kann man mit brennender Kerze mitten in Stroh oder Heu ſtellen, ohne eine Fortpflanzung des Feuers befürchten zu dürfen. Der zu geringen Lichtſtärke, welche eine ſolche Lampe für ſich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlſpiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am beſten braucht. Kommt man mit einer ſolchen Lampe in einen Raum, der brennbare Luft enthält, ſo erſcheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von deſto größerer Länge, je mehr ſolches Gas vorhanden iſt; die Gegenwart des Kohlenſäuregaſes gibt ſich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Ueberkleid), das man über ein ſalzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geſchützt zu werden. Brennendes Holz, Papier, ja ſelbſt Terpentinöhl wird durch einen Ueberwurf von Häckerlingen ſchnell gelöſcht, ſelbſt ein in Häckerling geſtellter glühender Körper vermag denſelben nicht anzuzünden. (Zeitſch. n. F. 2. 279.) Es iſt merkwürdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsprozeß ſchwächt, wie ſich dieſes aus Mac-Keever's Verſuchen ergab, der Wachs- und Unſchlittkerzen im Finſtern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beſchienenen Orte brennen ließ, und bemerkte, daß davon im erſten Orte am meiſten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigſten verzehrt wurde.

265. Feſte und tropfbare Körper, die beim Verbrennen keine flüchtigen Producte liefern, brennen ohne, flüchtige hingegen mit einer Flamme. Dieſe wird nämlich durch das verbrennende leuchtende Gas und die darin ſchwebenden, fein zertheilten, feſten Körperchen gebildet. Feſte oder tropfbare Körper, die beim Verbrennen ausdehnſame Stoffe liefern, können zugleich mit Gluth und mit Flamme brennen. Jene flüchtigen Theile, welche nicht die zum Brennen nöthige Hitze haben, bilden den Rauch. Dieſer beſteht hauptſächlich aus fein zertheilter Kohle und Waſſerdünſten, oft auch (wie z. B. beim Verbrennen des Silbers oder Eiſens in Sauerſtoffgas) aus fein zertheiltem Oxyde. Kommt er in einen kälteren Raum, ſo verdichtet er ſich und ſetzt ſeine minder flüchtigen Theile als Ruß ab. Es iſt klar, daß das Erſcheinen des Rauches immer ein Zeichen eines unvollkommenen Verbrennens ſey. Bei bloß glühenden Körpern geht das Verbrennen nur an der Oberfläche vor ſich; jene, die mit einer Flamme brennen, können ihrer ganzen Maſſe nach in Brand geſetzt werden, wenn der Sauerſtoff mit dem Brennſtoffe innig gemengt iſt, wie beim Knallgaſe.

266. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zuge-

ſpitzte Geſtalt, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter iſt, als die atm. Luft, und daher in derſelben aufſteigt; nur durch einen künſtlichen Luftſtrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben (Löthrohrflamme). Ihre Größe richtet ſich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gaſes und nach dem Zufluſſe von Sauerſtoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erſt zum Leuchten, wenn es die oberſte, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine ſolche Flamme durch ein Drahtnetz abſchneidet und von oben in ſie hineinſieht; denn man findet ſie in der Mitte dunkel und gleichſam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hineinhalten, ohne daß es brennt; ſo wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläſt, beginnt das Gas im Inneren der Flamme zu leuchten, und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'ſchen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme iſt nur durchſcheinend, keineswegs vollkommen durchſichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht ſo viel Licht nach einem Orte hinſenden, wenn ſie hinter einander ſtehen, als wenn ſie ſich neben einander befinden.

267. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündſtoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimiſchung fremdartiger Beſtandtheile ab. Nach Brewſter gibt jeder unvollkommen brennende Körper gelbes Licht. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe, unten iſt faſt jede blau.

Phosphor, Zink, Arſenik brennen weiß, Selen azurblau, Sodaſalze gelb, Kaliſalze blaß violett, Kalkſalze ziegelroth, Strontianſalze karmeſinroth, Lithionſalze roth, Barytſalze blaß apfelgrün, Kupferſalze grün oder grünlichblau, Eiſenſalze weiß. Zu allen dieſen Verſuchen paſſen Chlorſalze am beſten. Man tränkt damit einen Docht oder miſcht ſie zu Weingeiſt. Schwefel brennt in atm. Luft mit bläulicher, in Sauerſtoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgaſe mit gelblich rother Flamme. Weingeiſt, in welchem Borſäure oder ſalpeterſaures Kupfer aufgelöſt wurde, brennt grün, mit Bariumchlorid gelb, mit Strontiumchlorid roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth. Verbrennt man Weingeiſt von 0.835 ſpec. Gew. in einer Lampe ohne Docht, und geſtattet der Flamme eine Länge von $\frac{1}{2}$ Z., ſo erſcheint ſie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1 — $1\frac{1}{2}$ Z., ſo erſcheint ſie beinahe weiß. Wird dieſer Weingeiſt ſtark gewäſſert und mittelſt eines Dochtes angezündet, ſo gibt er faſt lauter gelbes Licht. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit ſchönem weißen Lichte, wenn ſie eine Länge von 1 — 2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung dieſe Länge auf 2 — 3 L., ſo ſendet ſie faſt lauter blaues Licht aus. Brennt Oehl ohne Docht mit großer Flamme, ſo gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Oehlzufluß, ſo wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgeſetzter Verminderung des Oehlzufluſſes wird ſie endlich ganz blau. Ein ſo eben ausgelöſchtes Talglicht zeigt im Dunkeln am Dochte einige Augenblicke ein ſchwa-

ches Leuchten; ebenſo gibt Wachs oder Talg, auf heißes, aber nicht leuchtendes Eiſen geſtrichen, ein blaßblaues Licht, welches das ſchwache Verbrennen begleitet. Merkwürdig iſt die Aenderung einer Hydrogengasflamme, die ſie erleidet, wenn man Sauerſtoffgas durch dieſelbe leitet. Die Flamme des unter einem beſtimmten Drucke ausſtrömenden Waſſerſtoffgaſes iſt mehr oder weniger lang, coniſch, und ein ſchwacher weißer Lichtmantel umgibt den inneren, faſt lichtloſen Theil derſelben. So wie Sauerſtoffgas zutritt, zieht ſich die Flamme zurück; in der Nähe der Ausflußöffnung entſteht eine dunkelblaue Partie, die von einer ſcharf begrenzten, coniſchen, bläulichweißen Hülle umgeben iſt, welche ſelbſt wieder von einem violettbläulichen Saume begrenzt wird.

268. Das *Leuchtvermögen* eines brennenden Körpers hängt beſonders von ſeiner *Dichte* und von ſeiner Natur ab. In der Regel leuchten die viel dichteren, feſten und tropfbaren Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten Gaſe und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen feſten Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gaſe ſehr ſtark glüht, ungemein erhöht. Eine Waſſerſtoffgasflamme leuchtet nur ſehr wenig, die vom verdichteten Knallgaſe hingegen ſehr ſtark, die Flamme des öhlbildenden Gaſes, bei der fein zertheilte Kohle ausgeſchieden wird, viel ſtärker; doch wird die Lichtſtärke beider noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieſer ſchnell weiß glühend wird. Die Flamme des gewäſſerten Weingeiſtes gibt ein ſehr ſchwaches Licht; tränket man aber den baumwollenen Docht einer Weingeiſtlampe mit ſalzſaurer, ſchwefelſaurer oder kohlenſaurer Soda, ſo erhält man eine ſtark leuchtende Weingeiſtflamme. Ein Tropfen Oehl auf den Docht gegeben, oder 0.15 Terpentinöhl dem Weingeiſte beigemiſcht, ertheilt der Flamme die Intenſität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit ſtarkem, aber dem Auge noch wohl erträglichen Lichte, im Sauerſtoffgaſe hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwicklung ſcheinen beim Kalke zuſammenzuwirken, den man in eine mit Sauerſtoffgas angefachte Weingeiſtflamme oder in eine Knallgasflamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intenſiven Lichte. (*Talbot* und *Blackadder* in Zeitſch. 1. 403. *Drummond* ebend. 1. 306. *Pleiſchl* ebend. 1. 390. *Döbereiner* in Schweigg. J. 62. 87. *Pfaff* in Pogg. Ann. 40. 547.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen ſchwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet ſich ein kegelförmiger dunkler Raum und zwiſchen dieſem und jenem Saume der leuchtendſte des Ganzen. Anders verhält es ſich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblaſen wird. Dieſe hat gleich im Inneren einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher ſich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — *Rumford* hat über die Lichtſtärke brennender Körper viele intereſſante Verſuche angeſtellt. Nach dieſen braucht man, um durch eine beſtimmte Zeit eine gleiche Lichtſtärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut geputzten Wachskerze 100, von einer gut geputzten Unſchlittkerze 101, von einer ungeputzten Unſchlittkerze 229; von Baumöhl in einer *Argand*'ſchen Lampe 110, von dem-

ſelben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Ripsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derſelben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimenſionen des Dochtes an; iſt dieſer zu kurz, ſo entſteht ein Abfließen der geſchmolzenen Maſſe, und durch zu viel Schmelzen derſelben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconſumtion; iſt er zu lang, ſo erzeugt er Schatten, kühlt zu ſchnell ab, ſcheidet unverbrannte Kohle aus, und vermindert ſo die Lichtſtärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, ſo müſſen dieſelben eine ſolche Entfernung von einander haben, daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geſchieden erſcheinen. Chriſtiſon und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe ſehr wichtiger Verſuche über das Gaslicht angeſtellt. Nach dieſen Verſuchen wird die Lichtſtärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend geſteigert, und zwar in einem größeren Verhältniſſe als die Gasconſumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconſumtion von Flammen, deren Länge 2, 3, 4, 5 Zoll beträgt, die Lichtſtärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Oehl für dieſelben Flammenlängen die Lichtintenſitäten 100, 282, 560, 582, 604, ſo daß alſo durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtſtärke auf das 6fache geſteigert werden kann. Auch als man dem Gaſe mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von beſtimmter Größe und Anzahl verſchaffte, war die Lichtſtärke größer, als wenn man eine einzige Oeffnung angebracht hatte, welche in derſelben Zeit die nämliche Gasmenge ausſtrömen ließ. Man konnte ſo ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtſtärke $1\frac{1}{2}$ mal vergrößern.

269. Von der Lichtſtärke eines leuchtenden Körpers iſt die entwickelte Wärmemenge ganz verſchieden. Dieſe iſt deſto größer, je vollkommener und ſchneller das Verbrennen vor ſich geht, je weniger Wärme das Verbrennungsproduct bindet, und je weniger Körper an der Erhitzung Theil nehmen, die nichts zum Verbrennen beitragen. Flammen geben eine größere Hitze als bloß glühende Körper, jedoch ſind auch dieſe nicht an allen Stellen gleich heiß. Ein Platindraht, den man quer in eine Kerzenflamme hält, wird da, wo er ihren äußerſten Saum berührt, glühend, in dem hellleuchtenden Theile derſelben berußt, und im innern dunkeln Kegel weder glühend, noch überhaupt ſtark erhitzt. Warme Luft, einem brennenden Körper zugeführt, erzeugt mit demſelben Aufwand von Brennmateriale mehr Hitze als kalte, indem ſie nicht auf Koſten des brennenden Stoffes erwärmt zu werden braucht, augenblicklich mit ganzer Stärke den Brand nährt und ihn dadurch mehr concentrirt. Deßhalb gehen auch bei Hochöfen, welche mit warmer Luft geſpeiſet werden, die Gichten ſehr langſam nieder. Die größte Hitze erzeugt verdichtetes, aus einer engen Röhre herausſtrömendes, brennendes Knallgas, oder nach Pleiſchl, ein Gemenge aus Kohlenwaſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas, wie dieſes in Newmann's Knallgebläſe angewendet wird. (Zeitſch. 1; 64. Gilb. Ann. 55. 247; 62. 339. Schweigg. J. 22. 385.)

270. Die beim Verbrennen frei gewordene Wärme kann man durch den Eisapparat (223), ſo wie durch Rumford's Calorimeter beſtimmen. Dieſes beſteht aus einem kupfernen Gefäße A (Fig. 297), in dem ſich eine ſchlangenförmig gewundene, ebenfalls kupferne Röhre B befindet, welche durch deſſen Boden geht, und unterhalb desſelben einen

Trichter C bildet. Das Verfahren beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes beſteht dem Weſen nach in Folgendem: Es wird die zu verbrennende Subſtanz unter die Mündung der Schlangenröhre gelegt, daſelbſt angezündet, vor und nach dem Verſuche gewogen und die Temperaturerhöhung bemerkt, welche dem Waſſer im Calorimeter dadurch zu Theil geworden iſt. M. Bull hat ſich zu demſelben Zwecke eines anderen Apparates bedient, der einem kleinen Zimmer (von 512 K. F. Inhalt) glich, das mit doppelten Wänden verſehen war, und in welchem das Verbrennen in einem eigenen Ofen vor ſich ging.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, ſind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Friſches Holz enthält immer viel Waſſer, das der Wärmeentwicklung ſchadet; nach M. Bull belauft ſich der Waſſergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, ſelbſt Holz, das ſchon 8 — 12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben ſelbſt gleich ſtark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach desſelben Verſuchen ſind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volum des Holzes folgende: Verkleinerte Rinde 100, Eiche 86, Eſche 77, Buche 65, Ulme 58, Birke 48, Kaſtanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln beim Verbrennen gleich viel Wärme, die compacteren verbrennen langſamer als die mehr poröſen. Gewöhnliche Kohlen enthalten faſt immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchſchnitte dreimal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz. Steinkohlen liefern nach Bull im Durchſchnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies nur $^1/_5$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Despretz geben Hydrogen beim Verbrennen die größte, die Metalle die kleinſte Menge Wärme, und zwar $^3/_5$ von der, welche ein gleiches Quantum Kohle liefert. Schwefel liefert bei verſchiedener Dichte der Luft gleich viel Wärme, wahrſcheinlich gilt dasſelbe auch für andere Körper. Nach Dulong entwickeln gleiche Gasvolume bei ihrer Verbindung mit Sauerſtoff gleiche Wärmemengen; ſie mögen ſonſt wie immer beſchaffen ſeyn, und es entwickeln ſich ſogar gleiche Wärmemengen es mögen ſich 1 oder 2 Atome des gasförmigen Zündſtoffes mit 1 At. Sauerſtoff verbinden. Bei feſten Subſtanzen ſind aber die entwickelten Wärmemengen ſehr ungleich. Nach Verſuchen verſchiedener Gelehrten werden durch 1 Pfd. von nachſtehenden Körpern ſo viele Pfd. Waſſer von 0 — 100° erwärmt, als die beigeſetzten Zahlen ausweiſen: Waſſerſtoffgas 221.25; Kohlenwaſſerſtoffgas 63.75; Kohlenoxydgas 18.57; trockenes Holz 36.66; Holz mit 20 pCt. Waſſer 29.45; detto mit 25 pCt. Waſſer 26.00; Holzkohlen 70.50; Steinkohlen der beſten Qualität 70.50; Coaks von 10 pCt. Aſchengehalt 63.45; Torf gewöhnlicher 15.00; Baumöhl 90.44; gereinigtes Rüböhl 93.07; Schwefeläther (0.728 ſp G.) 80.30; Alkohol (0.8176 ſp. G) 61.95; Talg 71.86; weißes Wachs 94.79; Steinöhl (0.827 ſp. G.) 73.38; Phosphor 75.00; Terpentinöhl 45.00.

271. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande der Wiſſenſchaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieſer Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiſton an, von dem er vorausſetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche, und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoiſier meinte, das Ver-

brennen werde durch einfache Wahlverwandtſchaft vermittelt, indem nämlich der brennende Körper den Sauerſtoff der atm. Luft aufnimmt, und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas exiſtiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelt ſich aus dem Sauerſtoffe auch das Licht. Allein es läßt ſich durch Rechnung nachweiſen, daß die frei gewordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengaſe enthalten ſeyn kann, und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuſchreiben iſt. Andere laſſen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerſtoff verbinde ſich mit dem brennbaren Körper, und der Wärmeſtoff des erſteren mit dem Lichtſtoffe des letzteren. In der neueſten Zeit hat die ſogenannte electro-chemiſche Theorie viele Anhänger erhalten, von ihr kann aber erſt ſpäter die Rede ſeyn. Beſteht das Weſen der Wärme in Bewegung, ſo iſt die Frage, woher die beim Verbrennen entwickelte Wärme rührt, nicht ſchwer zu beantworten.

Sechstes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene.

272. Man erklärt ſich faſt allgemein die Erſcheinungen der Wärme durch Annahme eines Wärmeſtoffes. Die Schlußweiſe, durch welche man die Erklärung leiſtet, iſt ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmeſtoff gebe, ſo muß er auch in Körpern von der niedrigſten Temperatur noch vorhanden ſeyn, und in jedem Körper einen gewiſſen Grad von Expanſivkraft beſitzen, der von ſeiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwiſchen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer dieſe Anziehung iſt, deſto mehr wird ſeine Ausdehnſamkeit geſchwächt, deſto kleiner iſt alſo bei derſelben Wärmemenge die Temperatur des Körpers, und deſto größer iſt deſſen Capacität. Nähert ſich einem warmen Körper ein anderer, in welchem der Wärmeſtoff eine geringere Spannung hat, ſo wird er von jenem in dieſen überſtrömen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnſamkeit beſitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Uebergang des Wärmeſtoffes von einem Körper in den anderen geſchieht, muß nothwendig von dem Unterſchiede der Spannung des Wärmeſtoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmeſtoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volums, welche, bei übrigens gleichen Umſtänden, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt iſt, wo ſie ein reines Reſultat der Wirkung des Wärmeſtoffes iſt. In feſten Körpern wird der Wärmeſtoff durch ſeine Expanſivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegenwirken; durch Anhäufung des Wärmeſtoffes wird aber dieſe Kraft immer mehr geſchwächt, bis ſie ſo weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterſchiede der Anziehung einzelner Stellen verſchwinden. Sobald dieſes erreicht iſt, fängt der

Körper an zu ſchmelzen. Iſt er ganz tropfbar geworden, ſo braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmeſtoffes, um den expanſibeln Zuſtand zu erzeugen, weil dazu ein gewiſſes Uebergewicht der abſtoßenden Kraft des Wärmeſtoffes über die Anziehungskraft der kleinſten Theile der Körper erfordert wird; es geht, ſelbſt wenn dieſe zwei Kräfte mit einander ins Gleichgewicht getreten ſind, ein Körper nicht bei dem geringſten Wärmezufluſſe in den expanſiblen Zuſtand über, weil äußere Kräfte die Spannkraft des Wärmeſtoffes einige Zeit überwältigen. Solche Kräfte ſind: der Druck der Atmoſphäre, oder wenn ſich die Flüſſigkeit im luftleeren Raume befindet, der Druck der entſtandenen Dünſte, und im Inneren noch dazu das Gewicht der oberen Schichten. Indeß findet doch dabei der Uebergang in den ausdehnſamen Zuſtand an der Oberfläche ſtets Statt, wenn der abſtoßenden Kraft kein Hinderniß entgegenſteht.

273. Man ſieht hieraus, daß die Erklärung der meiſten Wärmeerſcheinungen aus dieſer Hypotheſe, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an ſich hat. Allein die Leichtigkeit, womit man mittelſt dieſer Annahme die Wärmephänomene ſelbſt dem gemeinen Verſtande begreiflich machen kann, iſt offenbar das Einzige, wodurch ſich dieſe Hypotheſe empfiehlt. Man darf ſich auch darauf nicht viel zu Gute thun; denn man findet bei der Erklärung der Wärmephänomene immer nur jene Geſetze wieder, die man bei der qualitativen Annahme des Wärmeſtoffes ſchon vorausgeſetzt hat. Abgeſehen davon, daß man den Wärmeſtoff noch nicht iſolirt darſtellen konnte, daß er nicht die Eigenſchaften anderer materiellen Dinge, z. B. Schwere, Undurchdringlichkeit ꝛc. zeigt, ſo reicht er nicht einmal zur Erklärung aller Wärmephänomene aus; denn man erklärt daraus ſchwer oder gar nicht: 1) wie ſich die Wärme unter allen Temperaturen ſtrahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausſtröme, die eine geringere Temperatur haben als die Umgebung. Man kann ſich überhaupt von dem Zuſtande einer ausdehnſamen Flüſſigkeit, deren Fortpflanzung ſtrahlend geſchehen ſoll, wie dieſes mit dem Wärmeſtoffe ſeyn müßte, keine klare Vorſtellung machen, und es ſcheint, als läge in dieſer Annahme ſelbſt ein Widerſpruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortſchreiten der bewegten Maſſe verwechſelt; 2) wie ſich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmeſtoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen feſtgehalten wird, durch den leeren Raum fortpflanzen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen, z. B. mit Aether erfüllt ſey, weil die Vertheidiger des Wärmeſtoffes meiſtens den Aether läugnen. Geben ſie dieſen zu, ſo bedarf es keines anderen Stoffes mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung ſenden könne, welches beſonders nach Rumford's Verſuchen beim Reiben und auch bei Metallen geſchieht, welche durch Elektricität glühend gemacht werden. Dieſe Schwierigkeit kann man nicht

etwa durch Annahme einer Verminderung der Capacität erklären, denn bei Rumford's berühmtem Verſuche mit den Kanonen hatten die Bohrſpäne eine mit der ganzen Maſſe des Metalls gleiche Capacität, auch nicht dadurch, daß man annimmt, der Wärmeſtoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn dieſe Annahme ſtreitet gegen ein anerkanntes Naturgeſetz, vermöge welchem nur der kältere Körper vom wärmeren Wärme gewinnt, und nicht umgekehrt. 4) Wird einmal zur Erklärung der Wärmephänomene ein eigener Stoff angenommen, ſo kann eine Wärmeerregung nur in einem Freimachen dieſes Stoffes oder in der Verminderung der Capacität beſtehen; allein die Wärmeerregung beim Reiben läßt ſich daraus nicht erklären, und man iſt gezwungen anzunehmen, es werde da wirklich Wärme erzeugt, nicht bloß ſchon vorhandene in Freiheit geſetzt. (Vergleiche 254.) 5) Endlich iſt das Verhältniß zwiſchen Licht und Wärme nicht wohl erklärbar, beſonders wenn man ſich bei erſterem für das Vibrationsſyſtem ausſpricht, das doch von den optiſchen Erſcheinungen am meiſten begünſtiget wird.

274. Wenn man die Wärmeerſcheinungen mit denen des Lichtes und des Schalles vergleicht, ſo findet man eine ſehr große Uebereinſtimmung zwiſchen denſelben. Licht und Wärme exiſtiren häufig in demſelben Körper gleichzeitig, und begleiten ſich gegenſeitig. Wärme und Licht erleiden dieſelben Veränderungen und befolgen dieſelben Geſetze. Beide pflanzen ſich im leeren Raume und in der Luft von gleicher Dichte geradlinig, mit ungeheurer Geſchwindigkeit fort, beide werden gebrochen, zerſtreut, reflectirt, polariſirt, abſorbirt ꝛc., und beide im Allgemeinen nach denſelben Geſetzen. Zwiſchen Schall und Wärme gibt es eben ſo viele Analogien. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen ſich ſtrahlend fort; beide erleiden Reflexionen, und beide werden beim Uebergange von einem Mittel ins andere geſchwächt. Gleichwie Schallſtrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben ſo vermögen Wärmeſtrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt ſich auch der Klang durch ihn fort, und während ein Körper durch einen anderen erwärmt wird, gibt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwiderſprechlich bewieſen iſt, daß das Weſen des Schalles in Schwingungen beſtehe, ja eine ſtrahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüſſigkeit zeigt, deren Theile ſtrahlend (in gerader Linie) fortſchreiten; ſo fordern die Regeln der Analogie anzunehmen, das Weſen der Wärme beſtehe, ſo wie das des Schalles und des Lichtes, in einer vibrirenden Bewegung. Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile, oder beide zuſammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber ſind ſelbſt die Vertheidiger dieſer Anſicht nicht einig. So viel iſt aber aus den in 259 aufgezählten Erſcheinungen zu ſchließen, daß Licht und Wärme nicht von denſelben Schwingungen herrühren können, und daß, wenn ja beiderlei Schwingungen dem Aether zukommen, er ſich bei jeder Art derſelben in einem beſonderen Zuſtande befinden müſſe. Bei der Be-

wegung der Wärme in Körpern ſcheinen die kleinſten Körpertheile ſelbſt in Schwingungen zu ſeyn. Uebrigens iſt es einleuchtend, daß dasjenige, was man in der Emiſſionshypotheſe Wärmemenge, Wärmevertheilung, Wärmecapacität, Temperatur, Erwärmung und Erkaltung nennt, im Sinne der Vibrationshypotheſe lebendige Kraft der ſchwingenden Theile, Vertheilung dieſer Kraft in einer Maſſe, lebendige Kraft der einzelnen Molekel oder Atome, Geſchwindigkeit der Bewegung derſelben, Zunahme und Abnahme der lebendigen Kraft ſeyn müſſe ꝛc. (*Théorie analytique de la chaleur par M. Fourier. Paris* 1822. *Théorie math. de la chaleur par S. D. Poisson. Paris* 1838. *Traité de la chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures. 2 Tom. par E. Peclet. Paris* 1828. *A Treatise on heat by D. Landner. London* 1833.)

Dritter Abſchnitt.

Magnetismus.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine, magnetiſche Erſcheinungen.

275. Unter den Eiſenerzen befinden ſich einige, welche von Natur aus die merkwürdige Eigenſchaft beſitzen, Eiſen anzuziehen. Man heißt ſie Magnete, und die Kraft, welche ſie auf das Eiſen ausüben, magnetiſche Kraft. Diejenigen, welche dieſe Kraft ſchon von Natur aus beſitzen, nennt man natürliche Magnete, zum Unterſchiede von den durch Kunſt mit magnetiſchen Eigenſchaften verſehenen, die künſtliche Magnete genannt werden. Mit voller Sicherheit weiß man nur vom Eiſen, Stahl und Nickel, daß ſie im Zuſtande vollkommener Reinheit zu Magneten werden können; doch wird dieſe Eigenſchaft auch dem Kobalt, Chrom und Mangan von Einigen zugeſchrieben. Gewiß iſt es aber, daß ſelbſt Eiſen, Stahl und Nickel nur unter einer gewiſſen Temperatur magnetiſch ſeyen oder es werden können, über dieſer aber nicht (natürlich magnetiſches Eiſenerz nur unter der Rothglühhitze, Eiſen unter der Hellrothgluth, Nickel nahe unter 330° C.), ſo daß man es für wahrſcheinlich halten kann, es gebe für jeden Körper eine gewiſſe Temperatur, unterhalb welcher er, ſo gut wie Eiſen, magnetiſch iſt, oberhalb welcher er aber dieſen ſeinen Magnetismus verliert. Mittelſt Electricität läßt ſich jeder Körper in einen entſchieden magnetiſchen Zuſtand verſetzen. Außer der Kraft, Eiſen anzuziehen, kommt den Magneten noch eine andere, nämlich die Elektricität zu erregen, zu; hier ſoll aber nur von jener Anziehung die Rede ſeyn. Nicht jeder Magnet wirkt mit gleicher Kraft auf Eiſen, einige ſind nur im Stande, ganz kleine Eiſenmaſſen an ſich zu ziehen und ſie zu tragen; andere hingegen tragen Stücke von vielen Pfunden. Man kann weder aus ihrer Größe, noch aus ihrer Geſtalt auf die Stärke ihrer Kraft ſchließen. Oft ſind kleinere Stücke eines Magnetes kräftiger als große, oft iſt das Umgekehrte der Fall. Starke natürliche Magnete findet man ſtets nur am Ausgange eines magnetiſchen Eiſenerzlagers, oder, wie die Bergleute ſagen, zu Tage.

276. Die magnetiſche Kraft äußert ſich ſchon in einer gewiſſen Entfernung vom Magnete, und es können kleine Eiſentheile ſchon in bedeutenden Diſtanzen angezogen werden. Es iſt kein Unterſchied in der Stärke dieſer Anziehung bemerklich, ob ſich zwiſchen dem Magnete und dem afficirten Eiſenſtücke Luft oder irgend ein anderer Körper be-

findet, ja ſelbſt durch den Körper des Menſchen wirkt dieſe Kraft, und nur ſolche Maſſen, die ſelbſt magnetiſche Kraft beſitzen, hindern ihre Wirkſamkeit.

277. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieſelbe Kraft. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man ihn mit Eiſenfeilſpänen in Berührung bringt, und die Anhäufung derſelben an verſchiedenen Stellen beobachtet. Da ſieht man deutlich, daß die magnetiſche Kraft in einem Querſchnitte, der von beiden Enden des Magnetes nahe gleichweit abſteht, am kleinſten (oder eigentlich gleich Null) iſt, und von da aus gegen die Enden zu ſchnell wächſt. Fig. 298 ſtellt einen Magnet mit den angehängten Spänen vor. Man kann ſich füglich den Magnet aus zwei Hälften acb und adb beſtehend denken, die in einer indifferenten Ebene ab an einander grenzen. Man nennt jede ſolche Hälfte einen Pol des Magneten.

278. Wenn man einem Magnete die Geſtalt eines verhältnißmäßig langen Prisma's gibt, ihn mit einem Hütchen verſieht und auf eine verticale Spitze ſtellt, damit er ſich ungehindert in einer horizontalen Ebene bewegen könne; ſo wird er der Kraft eines anderen Magnetes in dieſer Ebene folgen können und geeignet ſeyn, über das Verhalten der Pole zweier Magnete A und B gegen einander Aufſchluß zu geben. Durch dieſes Mittel erfährt man, daß jeder Pol des Magnetes A einen Pol des Magnetes B anzieht, den anderen abſtößt und umgekehrt. Die Pole, welche ſich anziehen, werden freundſchaftliche; diejenigen, welche ſich abſtoßen, feindliche Pole genannt, ſo daß ſich das Verhalten zweier Magnete zu einander auf folgende Weiſe ausdrücken läßt: Unter den vier Polen zweier Magnete gibt es zwei freundſchaftliche und zwei feindliche, und die zwei Pole desſelben Magnetes ſind ſtets entgegengeſetzter Natur. Vermöge dieſes Geſetzes richten ſich zwei bewegliche Magnete, wenn ſie über einander frei hängen, immer ſo, daß ihre ungleichnamigen Pole nach Einer Seite zu liegen.

Obiges Geſetz iſt zum Behufe vieler magnetiſcher Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein ſicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetiſche Kraft beſitze oder nicht. Man darf einen ſolchen nämlich nur einem Magnete, der ſeine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern und ſehen, ob bei irgend einem Punkte eine Abſtoßung Statt findet. Nur in dieſem Falle ſind beide Körper magnetiſch. Auf die Anziehung kann man ſich bei dieſer Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlaſſen.

279. Ein Magnet, der ſo auf einer Spitze ruht, wie der in Fig. 299 abgebildete, oder der an einem feinen Faden hängt, richtet ſich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem anderen gegen Süden. Deßwegen heißt man jenen den Nordpol, dieſen den Südpol des Magnetes, und dieſe ſeine Eigenſchaft überhaupt magnetiſche Polarität. Die Verticalebene, in welcher ſich die Pole eines frei hängenden Magnets, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetiſcher Meridian. Vergleicht man dieſen mit dem geographiſchen Meridiane des Beobachtungsortes, ſo findet man, daß beide ſich unter

einem Winkel ſchneiden, welcher die Abweichung (declinatio) des Magnetes heißt. Hat man einen Magnet in ſeinem Schwerpunkte ſo befeſtigt, daß er ſich zugleich um eine horizontale Axe drehen kann, ſo bemerkt man, daß ſich ſein Nordpol unter die Horizontalebene hinabſenkt. Der Winkel, welchen er mit dem Horizonte macht, wird die Neigung (inclinatio) des Magnetes genannt. Eine auf der Axe eines im Schwerpunkte aufgehängten Magnetes ſenkrechte Ebene heißt der magnetiſche Aequator.

Da nun jeder Pol eines Magnetes einen beſondern Namen hat, ſo läßt ſich das oben (278) angeführte Geſetz der Einwirkung zweier Magnete auf einander auch ſo ausdrücken: Gleichnamige Pole ſtoßen ſich ab, ungleichnamige ziehen ſich an.

280. Schon aus dieſen Erſcheinungen kann man abnehmen, daß die Erde wie ein Magnet auf einen anderen Magnet wirke; man kann dieſes aber noch mehr durch Folgendes bekräftigen: Hält man eine weiche Eiſenſtange in den magnetiſchen Meridian, und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht, ſo lehrt die Erfahrung, daß ſie alſogleich magnetiſche Polarität zeigt, und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengeſetzte den Südpol, verliert dieſe Eigenſchaft aber augenblicklich, ſobald man ſie aus dieſer Richtung in irgend eine darauf ſenkrechte bringt. Eigentlich iſt eine Eiſenſtange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetiſche Polarität, in jeder anderen beſitzt ſie dieſe in einem deſto größeren Grade, je mehr ſich ihre Richtung der zuerſt genannten nähert, in dieſer iſt ſie am größten. Es iſt leicht einzuſehen, daß der Nordpol eines Magnetes, und falls der Erde, wie einem anderen Magnete, Pole zukommen, der gegen Norden gelegene, magnetiſche Pol der Erde freundſchaftliche, mithin ungleichartige Pole ſind, und daß man daher jenen Südpol nennen ſoll, wenn man dieſen Nordpol heißt. Indeß iſt es in Deutſchland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen.

281. Dieſe Phänomene ſind von jenen des Lichtes und der Wärme ſo ſehr verſchieden, daß man ſie nicht aus derſelben Grundurſache herzuleiten vermag. Man nimmt faſt allgemein zu ihrer Erklärung eine ungemein feine, unwägbare (ätheriſche) Flüſſigkeit an, welche aus zwei von einander verſchiedenen Theilen oder aus zwei beſonderen Flüſſigkeiten beſteht. So lange beide Theile dieſes Fluidums in einem Körper ſo verbunden ſind, daß keiner vorherrſcht, befindet ſich der Körper im natürlichen Zuſtande; ſo wie aber der eine oder der andere Theil vorherrſcht, treten die magnetiſchen Phänomene hervor. Es iſt klar, daß, wenn in einem Theile eines Körpers die eine Flüſſigkeit vorherrſchend vorhanden iſt, in dem anderen die zweite vorherrſchend ſeyn muß, und man begreift daraus, warum ein Körper ſtets aus zwei magnetiſchen Hälften von entgegengeſetzter magnetiſcher Natur beſteht. Die gleichartigen magnetiſchen Flüſſigkeiten erzeugen gleichartige Pole und ſtoßen ſich demnach gegenſeitig ab, die ungleichartigen begründen

ungleichartige Pole und ziehen ſich gegenſeitig an. Das magnetiſche Fluidum geht nicht von einem Körper in einen anderen über, denn ein Magnet verliert nichts von ſeiner Kraft, wenn man ihn mit irgend einem Körper berührt; ja nicht einmal in dem Falle, wo der berührende Körper durch den Magnet ſelbſt magnetiſch wird, findet ein ſolcher Uebergang Statt. Man darf ſich aber auch nicht vorſtellen, daß beim Magnetiſchwerden des Eiſens oder eines anderen Körpers ein magnetiſches Fluidum in die eine, das andere in die zweite Hälfte des neuen Magnetes übergehe, und demnach das Fluidum im Inneren des Körpers bedeutende Ortsveränderungen vornehme; denn wenn man ein magnetiſirtes Stück Eiſen in beliebige Stücke zerſchneidet, ſo iſt jedes derſelben ein ganzer Magnet mit zwei Polen, welches nicht ſeyn könnte, wenn nicht an jeder Stelle des Eiſens beide magnetiſche Fluida vorhanden wären. Daher kann das Magnetiſchwerden eines Körpers nur dadurch vor ſich gehen, daß die Trennung der zwei magnetiſchen Fluida nur in einem ungemein kleinen Stücke jenes Körpers, in einem magnetiſchen Elemente desſelben, erfolgt. Die Größe eines ſolchen Elementes hängt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Trennung der zwei magnetiſchen Flüſſigkeiten in einem Elemente erfolgt nicht bei allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit, aber je leichter dieſe Trennung erfolgt, deſto leichter geht auch ihre Wiedervereinigung von Statten. Man nennt die Kraft, welche ſich der Trennung widerſetzt, Coercitivkraft. Uebrigens darf man nicht vergeſſen, daß alles dieſes bloße Hypotheſe ſey, die man nur zur Erleichterung der Ueberſicht der magnetiſchen Phänomene aufſtellt.

Nach der hier aufgeſtellten Anſicht über den inneren Verlauf der magnetiſchen Phänomene wird zum Magnetiſchwerden eines Körpers erfordert, daß er das magnetiſche Princip in ſich enthalte, und daß es in ſeine zwei ungleichartigen Beſtandtheile getrennt werden könne. Wenn auch ein Körper durch das gewöhnliche Verfahren nicht magnetiſch wird, ſo darf man ihm darum das magnetiſche Princip noch nicht abſprechen; denn ſeine Coercitivkraft kann ja ſo groß ſeyn, daß unſere gewöhnlichen Mittel nicht im Stande ſind, die Trennung des magnetiſchen Princips in den magnetiſchen Elementen zu bewerkſtelligen.

Zweites Kapitel.

Verfahren, künſtliche Magnete zu erzeugen.

282. Viele Körper können durch eine beſondere Behandlung in künſtliche Magnete verwandelt werden. Die Mittel, wodurch man dieſes erreicht, ſind: Eine beſtimmte Lage gegen die Erde, Annäherung eines Magnetes bis zur Berührung oder auch ohne dieſelbe, Streichen mit einem Magnet, Einwirkung eines electriſchen Stromes, nach einigen auch eine beſtimmte Art der Beſtrahlung durch Sonnenlicht. Weiches homogenes Eiſen wird durch jedes dieſer Mittel ſchnell und ſtark magnetiſch, doch behält es ſeine magnetiſche Kraft nicht viel länger, als die magnetiſirende Ein-

wirkung dauert; dasſelbe findet in den übrigen Körpern Statt, mit Ausnahme der Körper, die eines ſelbſtſtändigen, den magnetiſirenden Einfluß lange überdauernden Magnetismus fähig ſind.

283. Wenn ſich eine ſehr weiche, homogene, hinreichend lange Eiſenſtange außerhalb des magnetiſchen Aequators befindet, ſo zeigt ſie magnetiſche Polarität, und das gegen Norden gekehrte Ende derſelben hat nördlichen Magnetismus. Dieſer wird noch ſtärker, wenn die Stange in den magnetiſchen Meridian gebracht wird, und erreicht ſeine größte Stärke, wenn die Stange in dieſer Ebene zugleich die Neigung einer Magnetnadel annimmt. Durch mechaniſche Behandlung, z. B. durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, ſchnelles Abkühlen ꝛc. wird die Empfänglichkeit für den Magnetismus in dieſer Lage erhöht, und derſelbe oft auch dauernd gemacht.

Ein eiſerner Draht erlangt ſchon magnetiſche Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetiſchen Aequator abweicht, und es bekommt ſein oberes Ende einen Süd- das untere einen Nordpol. Allein dieſer Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage ſchlägt, biegt, dreht, ſtreckt, feilt oder ſonſt mechaniſch verändert. Macht man Eiſen rothglühend und löſcht es in lothrechter Lage im Waſſer ab, ſo wird es magnetiſch, und das obere Ende erhält den Süd- das untere den Nordpol. Den ſtärkſten Magnetismus erlangt ein Eiſenſtab, wenn er vertical geſtellt wird, und mit ſeinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eiſenſtange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer ſchlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen dieſen Operationen iſt es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetiſirend wirkt, die mechaniſche Behandlung des zu magnetiſirenden Körpers disponirt denſelben nur zur leichteren Trennung ſeiner magnetiſchen Kräfte.

284. Es iſt klar, daß der Erdmagnetismus durch die Kraft jedes anderen ſtarken Magnetes vertreten werden kann. Nähert man einem künſtlichen oder natürlichen Magnete ein Eiſenſtäbchen, ſo erhält das dem Nordpole dieſes Magnetes nächſte Ende einen Südpol, das andere einen Nordpol. Iſt einer dieſer zwei Körper leicht beweglich und die magnetiſche Kraft ſtark genug, ſo nähern ſich beide bis zur Berührung. Der Anziehung des Eiſens durch einen Magnet geht immer eine ſolche Magnetiſirung voraus, und man ſoll daher nicht ſagen, der Magnet ziehe das Eiſen an, ſondern jener mache dieſes zu einem Magnete, woraus dann die Anziehung von ſelbſt folgt. Ein an einem Magnete hängendes Eiſenſtäbchen iſt ſelbſt wieder im Stande, ein zweites zu magnetiſiren, es anzuziehen und oft ſelbſt zu tragen, dieſes ein drittes, viertes ꝛc. ꝛc. bis endlich das vereinte Gewicht von ſolchen Stäbchen größer wird, als die magnetiſche Kraft des erſteren, in welchem Falle ſie ſich von demſelben trennen und insgeſammt die magnetiſche Kraft verlieren.

285. Eines der kräftigſten Mittel, künſtliche Magnete zu erzeugen, iſt das S t r e i c h e n mit einem Magnet, und zwar der e i n f a c h e oder der D o p p e l ſ t r i c h. Beim e i n f a c h e n Striche ſetzt man einen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte der zu magnetiſiren-

den Stange, führt ihn gegen ein Ende derſelben hin, und zieht ihn am Ende ſeitwärts ab, oder über das Ende hinaus. Dieſes Verfahren wiederholt man öfters, ohne aber je die Stange vom Ende gegen die Mitte zu ſtreichen. Hierauf ſetzt man den anderen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu erzeugenden Magnetes, und ſtreicht mit demſelben gegen das andere Ende hin, ohne je einmal umgekehrt zu ſtreichen. Da erhält nun jede Hälfte eine Polarität, welche der des aufgeſetzten Poles entgegengeſetzt iſt. Der einfache Strich iſt nicht geeignet einem nur etwas ſtarken Stabe ſo viel Magnetismus zu ertheilen als dieſer aufzunehmen vermag. Doch kann er mit Vortheil in Anwendung kommen, wenn man ein Stahlblech nur an beſtimmten Stellen magnetiſiren will. Nimmt man einen Magnet, der an einem Ende abgerundet iſt, und zeichnet mit demſelben auf einem rein geſcheuerten Stahlbleche Figuren, ſo nimmt dieſes an den geſtrichenen Stellen Magnetismus an, und man kann die Figuren ſogar durch aufgeſtreute Eiſenfeile ſichtbar machen, und ſie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitſch. 7. 367.) Das Weſentliche des Doppelſtriches beſteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier Magnete oder die beiden Pole eines hufeiſenförmigen Magnetes ſenkrecht oder geneigt aufſtellt, und ſie nach derſelben oder nach entgegengeſetzten Richtungen mit ſtarker Reibung längs jenes Stabes wiederholt hin- und zurückführt, zuletzt aber in der Mitte abhebt. Oft werden die Enden dieſes Stabes mit weichem Eiſen, manchmal auch mit ſtarken Magneten bewaffnet. Hier erhält jedes Ende des Stabes den Magnetismus, welcher jenem des ihm zuletzt beim Streichen zugeführten Poles des Streichmagnetes entgegengeſetzt iſt oder mit jenem des davon zuletzt ſich entfernenden Poles übereinſtimmt.

Der Doppelſtrich iſt zuerſt im Jahre 1745 von Knight angewendet worden, und zwar ſo, daß man die zu magnetiſirende Stange horizontal auf einen Tiſch legte, darauf nach der Länge zwei Streichmagnete ſetzte, deren entgegengeſetzte Pole einander faſt in der Mitte des Stabes berührten, und dieſe Pole von einander entfernte, indem man ſie in entgegengeſetzter Richtung längs der Unterlage auseinander zog. Kurze, nicht gar dicke Stäbe laſſen ſich auf ſolche Weiſe vollkommen magnetiſiren, langen Stäben iſt aber dieſes Verfahren nicht gewachſen. Duhamel verbeſſerte es dadurch, daß er die zu magnetiſirende Stange zwiſchen zwei Stäbe aus weichem Eiſen anbrachte, und die Streichmagnete unter einem Winkel von 25—30° auf ſie ſtellte, übrigens aber ſie wie Knight hin und her führte. Mitchell nahm zum Streichen nicht einzelne Magnetſtäbe, ſondern aus mehreren ſolchen beſtehende Bündel, ſtellte zwei ſolche mit ihren entgegengeſetzten Polen in einiger Entfernung von einander ſenkrecht auf den zu magnetiſirenden Stab, und führte ſie ſo gegen das eine und dann gegen das andere Ende jenes Stabes hin. Aepinus brachte an den Enden dieſes Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier ſtarken Magnete an, wendete aber wie Mitchell zum Streichen Magnetbündel, jedoch nicht in ſenkrechter ſondern in geneigter Lage an. In der neueſten Zeit haben ſich vorzüglich Hoffer und Mohr mit der Erzeugung ſtarker Magnete durch Streichen abgegeben. Die prac-

tiſche Ausführung des Doppelſtriches nach Hoffer's Methode iſt, ungeachtet ſie dem Weſen nach ſtets dieſelbe bleibt, doch verſchieden, je nachdem man gerade oder hufeiſenförmig gebogene Stäbe magnetiſiren will, welche letztere Geſtalt man einem Magnete oft darum gibt, um mit einem einzigen Eiſenſtücke, das man Anker oder Trageiſen nennt, beide Pole auf einmal beſchäftigen zu können, und ſo dieſe eine größere Laſt tragen zu machen. Um nun einen hufeiſenförmigen Stab A (Fig. 300) durch den Doppelſtrich zu magnetiſiren, legt man ihn auf einen Tiſch, bringt den Anker B an die beiden Endflächen desſelben, und ſetzt den ebenfalls hufeiſenförmigen Streichmagnet C mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeiſens, und zwar ſo nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung. In dieſer führt man ihn in gleichmäßigem Zuge und mit unverändertem Drucke parallel zu den Schenkeln des Hufeiſens, bis über die Wölbung desſelben hinaus, und wieder, ohne das Hufeiſen zu berühren, zurück. Nach mehreren Strichen dieſer Art hat der Stab ſchon das Maximum der Kraft, der er fähig iſt, angenommen, und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgeſetzten Pole des Streichmagnetes gleichnamige Polarität. Man kann auch umgekehrt verfahren, den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeiſens an der Wölbung aufſetzen (Fig. 301), gegen die Endflächen desſelben hinſtreichen, und den Streichmagnet über denſelben hinausführen, wobei es gerade nicht weſentlich iſt, daß der Anker vorgeſetzt werde. Da erhält jeder Schenkel des Hufeiſens die dem aufgeſetzten Pole entgegengeſetzte Polarität, und man kann daher mittelſt dieſer Methode den, mittelſt der vorhergehenden erzeugten Magnetismus aufheben oder die Pole umkehren. Hat man zwei gerade Stäbe nach Hoffer's Methode zu magnetiſiren, ſo verfährt man ſo: Man legt ſie in paralleler Lage auf einen Tiſch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern, und ſetzt einen Hufeiſenmagnet mit ſeinen Polen in aufrechter Stellung in der Nähe eines Ankers auf die zwei Stäbe (Fig. 302). Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäßigem Zuge gegen das andere Ende hin und ſogar über dasſelbe hinaus, führt ihn aber, ohne die Stäbe zu berühren, wieder auf die erſte Stelle zurück, und wiederholt dieſes Verfahren einige Mal. Die Stellen, wo die Pole aufgeſetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. Man kann auch zwei Hufeiſenmagnete auf einmal auf ſolche Stangen und zwar entweder beide in die Mitte der Stangen aufſetzen, oder jeden in die Nähe eines Ankers, aber immer ſo, daß derſelbe Stab zugleich von zwei ungleichartigen Polen berührt wird. Im erſteren Falle zieht man die Magnete in entgegengeſetzter Richtung gegen die Anker hin und über ſie hinaus, im letzteren gegen die Mitte hin und dann quer über die Stange weg. Hat man mehrere Paare gleicher Stäbe zu magnetiſiren, ſo kann man deren mehrere der Länge nach an einander legen, ſo daß ſie zwei verlängerte Stangen formiren, die ſich durch Anker verbinden und ſo magnetiſiren laſſen, als hätte man es nur mit zwei Stangen zu thun. (Hoffer in Zeit. n. F. 2. 197; 3. 193.) Mohr's Verfahren bezieht ſich unmittelbar nur auf hufeiſenförmige Stäbe, kann aber leicht auf gerade angewendet werden. Es unterſcheidet ſich von jenem Hoffer's, wo der Streichmagnet von der Wölbung des Hufeiſens gegen deſſen Enden hingeführt wird, nur dadurch, daß man, bevor der Streichmagnet vom Hufeiſen abgezogen wird, ferner dem Hufeiſen einen zweiten Anker auflegt, und dann den Magnet mit dem zuerſt vorgeſetzten Anker abzieht, ſo daß ſtets beide Hufeiſen geſchloſſen bleiben. (Mohr in Pogg. Ann. 36. 542.) Nach Moſer's vergleichenden Verſuchen ſteht für zu magnetiſirende Stäbe Mohr's

Verfahren dem von Hoffer nach, beide ſollen aber von dem Mitchell'ſchen Doppelſtriche übertroffen werden. (Dove's Repertorium der Phyſik 2. 141.)

286. Eine beſondere Modification des Doppelſtriches iſt der Kreisſtrich. Bei dieſem werden vier Stahl- oder Eiſenſtäbe ſo gelegt, daß ſie ein Quadrat bilden, und auf dieſem zwei Magnete nicht weit von einander mit ungleichnamigen Polen mehrmal rings herum geführt. Wenn man mehrere Magnetſtäbe durch einen Ring in der Richtung ſeiner Halbmeſſer ſtreckt, ſo daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüberſtehen und einen kleinen Raum zwiſchen ſich übrig laſſen; ſo kann man durch dieſen einen Eiſenſtab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetiſiren. Auf dieſe Weiſe erhält derſelbe nach ſeiner Länge ſo viele Pole, als man Magnetſtangen angewendet hat, und jeder derſelben liegt in einer mit ſeiner Axe parallelen Linie. Ein ſolcher Magnet iſt dann ein Transverſalmagnet.

In der neueren Zeit hat man am Sonnenlichte ein neues Mittel, Magnetismus zu erregen, kennen gelernt. Morechini fand zuerſt, daß eine Stahlnadel magnetiſch werde, wenn man ſie in den violetten Theil des prismatiſchen Farbenbildes ſtellt, oder durch eine Sammellinſe dieſes Licht concentrirt auf ſie fallen läßt. M. Sommerville hat dieſen Verſuch dahin abgeändert, daß ſie die zu magnetiſirende Stahlnadel zur Hälfte mit Papier bedeckte und ſie dann durch violettes Licht beleuchtete. Sie fand nach einiger Zeit die Nadel magnetiſch, und zwar hatte immer der dem Lichte ausgeſetzte Theil einen Nordpol. Auch blaue und grüne Strahlen bewirken dasſelbe, wiewohl erſt nach längerer Zeit; die orangen gelben und rothen Strahlen brachten aber keine Wirkung hervor. Stahlnadeln von ⅓—¼ L. Dicke werden auch magnetiſch, wenn man ſie an einem Ende polirt und dann dem vollen directen Sonnenlichte ausſetzt: da bekommt das polirte Ende immer den Nordpol. Man kann auf dieſe Weiſe an einem Stücke ſo viele Nordpole erzeugen, als es polirte Stellen gibt. Es gehört aber dazu ziemlich intenſives Licht, deßhalb (und vielleicht auch aus noch andern bisher unbekannten Gründen) gelingen ſolche Verſuche nur in den ſchönſten Sommermonaten. Daß die Erwärmung daran keinen Antheil habe, ſieht man daraus, daß man ſolche Nadeln mittelſt des Lichtes auch unter Waſſer magnetiſiren kann. (Zeitſch. I. 263) Es haben zwar Rieß und Moſer dieſe Einwirkung des Sonnenlichtes läugnen zu müſſen geglaubt, weil ſie bei ihren Verſuchen keine Magnetiſirung durch Licht zu Stande bringen konnten; allein bei vorliegenden poſitiven Reſultaten dürften negative anderer Experimentatoren keinen hinreichenden Grund gegen das Daſeyn photomagnetiſcher Erſcheinungen abgeben, um ſo mehr, da Zantedeschi's ſpäter zu erwähnende Erfahrungen über den Einfluß des Lichtes auf Magnete vorliegen. (Pogg. Ann 16. 563.) — Vom Magnetiſiren durch Electricität wird in der Folge die Rede ſeyn.

287. Die Stärke eines ſo erzeugten Magnetes hängt bei ſonſt gleichen Umſtänden von der Kraft des Streichmagnetes und von der materiellen Beſchaffenheit, Homogeneität, Geſtalt und Größe der zu magnetiſirenden Stange ab. An und für ſich kann man mit einem ſchwachen Streichmagnete wieder nur ſchwache magnetiſche Kräfte

wecken; allein mittelſt eines beſonderen Kunſtgriffes kann man es dahin bringen, daß ſelbſt ſchwache Magnete zu kräftigen magnetiſchen Magazinen verhelfen. Magnetiſirt man z. B. einige gleichgeformte Hufeiſen nur ſchwach, und legt ſie dann mit ihren gleichnamigen Polen über einander, ſo geben ſie einen viel ſtärkeren Magnet als jedes einzelne Element iſt. Mit dieſem kann man ein anderes Hufeiſen ſchon ſtärker magnetiſiren. Nimmt man dieſes zu dem ganzen Bündel, trennt dafür ein anderes davon, und magnetiſirt es wieder mit dem nun abermals ſtärker gewordenen zuſammengeſetzten Magnete, ſo nimmt es ſelbſt wieder eine ſtärkere Kraft an, und ſo kann man, indem man dieſes Verfahren auf alle einzelnen Hufeiſen anwendet, zuletzt einen ſehr ſtarken zuſammengeſetzten Magnet erhalten. Auf dieſe Weiſe hat Knight ſein magnetiſches Magazin bereitet, das aus 480 Stahlſtangen von 1½ F. Länge beſtand, und 1000 Pfund wog. Gerade Stäbe verbindet man mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel, und legt an ihre Pole Platten aus weichem Eiſen mit vorſtehenden Füßen (Fig. 303), damit man an dieſelben einen Anker anbringen könne. Dieſe Vorrichtung nennt man die Armatur eines Magnetes.

288. Die Stäbe, welche zu Magneten beſtimmt ſind, ſollen aus feinkörnigem, gleichartigen und durchaus gleichmäßig harten Stahle beſtehen, und an der Oberfläche glatt gefeilt oder gar geſchliffen ſeyn. Zu große Härte iſt der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer desſelben nachtheilig. Eiſenadern, Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für ſtarken Magnetismus. Gut iſt es, wenn die Breite eines Stabes ein Mehrfaches ſeiner Dicke und letztere überhaupt nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter ¼ Z. iſt. Bei Hufeiſen ſollen die Schenkel möglich parallel und enge an einander gebogen ſeyn. Der Anker ſoll aus weichem Eiſen beſtehen, der Größe des Magnetes angemeſſen ſeyn, und ſich gut, wenn auch nur in einer Linie, an die Polflächen anſchließen. Man hat ſogar angewieſen, ihn an die Magnetenden anzuſchleifen. Gerade Stangen tragen ſelten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeiſen oft das zehnfache desſelben. Verbindet man mehrere hufeiſenförmig gebogene Stäbe mit einander, ſo gibt man dem mittleren die größte Dicke und Länge, und macht die äußeren an Dicke und Länge abnehmend. (Fig. 304.) Den Anker trägt dann nur der mittlere Stab.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1 — 2 Pfund kaum das Zehnfache desſelben. Cavallo ſah einen Magnet, der 7 Gr. wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet ſich im Taylor'ſchen Muſeum; er wiegt ſammt der Armatur 307 Pfd. und trägt 230 Pfd. Mohr verſah einen Magnet mit einem Anker, der einerſeits flach, andererſeits halbcylindriſch gewölbt war. Mit der flachen Seitenwand anliegend trug er 20 Pfd., mit der gewölbten 31¼ Pfd. Nobili

fand, daß zwei vollkommen gleiche Stahlſtäbe, deren einer maſſiv, der andere der Länge nach durchbohrt, alſo hohl war und weniger Maſſe hatte als der erſtere, ungleiche Kräfte durch Streichen annahmen. Im Zuſtande der Sättigung verhielt ſich die Tragkraft des maſſiven Stabes zu jener des hohlen, wie 95 : 190.

289. Magnetiſirt man ein dünnes gerades Stahlplättchen, bringt daran ein Hütchen an, und ſtellt es damit auf eine Spitze, oder hängt es an einem feinen Seidenfaden auf, damit es ſich frei bewegen könne; ſo hat man die Vorrichtung, welche man Magnetnadel heißt. Fig. 299 ſtellt eine ſolche vor, wie ſie auf einer verticalen Spitze ruht. Man gibt einer Magnetnadel häufig die Geſtalt eines vierkantigen Prisma's oder eines ſchmalen und verhältnißmäßig langen Rhombus. Sie wird aus Uhrfederſtahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehartet und dann temperirt, indem man ſie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verſchwindet. Die Politur hat auf die magnetiſche Capacität einer ſolchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächſt im Verhältniß ihrer Länge und Maſſe. Meiſtens unterſcheidet man ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Geſtalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel, ja nach Lampadius ſogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den ſtählernen den Vorzug haben, daß ſie nicht ſo leicht roſten. — Dieſes wichtige Werkzeug zeigt dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden, und iſt bei einem bewölkten Himmel ſein vorzüglichſter Führer, es dient dem Geometer bei Meſſungen unter der Erde oder durch Wälder zum Winkelmeſſer und Führer, und leiſtet überhaupt die beſten Dienſte, wenn Gegenſtände, z. B. Sonnenuhren, Meßtiſche ꝛc. nach beſtimmten Richtungen geſtellt werden ſollen. In manchem Falle iſt eine Magnetnadel von Nutzen, welche ſich nur in der Ebene des magnetiſchen Aequators bewegen kann, und darum aſtatiſch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt, und bleibt in jener Ebene in jeder Richtung ſtehen, wenn ihr Schwerpunkt in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine ſolche Nadel angegeben, Fig. 305 ſtellt ſie vor; Schmidt hat ſie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243). Man kann ſich aber auch eine Nadel verſchaffen, die bei jeder Abweichung vom magnetiſchen Meridane in Ruhe bleibt, und deßhalb aſtatiſch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich ſtarke Magnetnadeln mit einander unveränderlich ſo verbindet, daß ihre ungleichnamigen Pole nach derſelben Gegend hin gerichtet ſind, wie Fig. 306, a und b zeigt.

Drittes Kapitel.

Geſetze der magnetiſchen Kräfte im Gleichgewichte.

290. Ein Magnet iſt der Inbegriff mehrerer magnetiſchen Elemente, deren jedes von der Erde angezogen und abgeſtoßen wird, und zwar beides mit gleicher Intenſität. Dieſes geht daraus hervor, daß

das Gewicht eines Stahlſtabes durch Magnetiſiren nicht im geringſten geändert wird. Sind A M und B M (Fig. 307) die Pole eines Magnetes (Magnethälften), ſo wird jedes Element derſelben von der Erde angezogen und abgeſtoßen. Stellen A C und B D die Richtungen und Größen der Kräfte vor, welche die Punkte A und B anziehen, A E und B F diejenigen, welche ſie abſtoßen; ſo ſind die Diagonalen A G und B H der Parallelogramme A E G C und B F H D die zwei Reſultirenden. Auf ähnliche Weiſe findet man dieſe Reſultirenden jedes anderen Punktes der zwei Magnethälften; alle die Reſultirenden eines Poles ſind offenbar einander parallel, aber der Größe nach verſchieden, ſie haben auch eine ihnen parallele Reſultirende, und es iſt klar, daß die Reſultirende der Kräfte des einen Poles jener der Kräfte des anderen nur dann das Gleichgewicht halten kann, wenn ihre Richtungen mit der Geraden A B zuſammenfallen, welche ſo angenommen iſt, daß für ſie die Summe der Momente aller magnetiſchen Kräfte des betreffenden Körper den größten Werth hat. Man nennt ſie die Axe des Magnetes. Umgekehrt kann man ſchließen, daß die Axe eines Magnetes, an welchem die Kräfte des Erdmagnetismus im Gleichgewichte ſtehen, in der Richtung der magnetiſchen Kraft der Erde liege. Demnach zeigt die Richtung eines frei ſchwebenden, in ſeinem Schwerpunkte aufgehängten Magnetes die Richtung der magnetiſchen Kräfte der Erde für den Beobachtungsort an.

291. Die Reſultirende aller anziehenden und abſtoßenden Kräfte, welche zwiſchen der Erde und jedem Elemente eines Magnetpoles Statt finden, muß der Summe dieſer einzelnen Kräfte gleich ſeyn, und ihren Angriffspunkt in der Magnetaxe zwiſchen der indifferenten Ebene und dem äußerſten Punkte des Poles haben. Der Mittelpunkt dieſer magnetiſchen Kräfte (I. 92) iſt der mathematiſche Pol. Man kann demnach annehmen, ein magnetiſcher, ſchwerer Körper werde von drei Kräften afficirt: 1) Von der Schwere, die vom Schwerpunkte vertical abwärts wirkt. 2) Von zwei gleichen, entgegengeſetzten magnetiſchen Kräften, die in den Polen ihre Angriffspunkte haben, und mit der Richtung des Erdmagnetismus parallel wirken. Wird der Magnet in ſeinem Schwerpunkte unterſtützt, ſo iſt die Wirkung der Schwere auf ihn aufgehoben, und er gehorcht ganz allein den magnetiſchen Kräften. Wirkt auf einen Magnet außer dem Erdmagnetismus und der Schwere noch ein anderer Magnet, ſo muß er eine Richtung annehmen, welche mit jener der Reſultirenden aller dieſer Kräfte zuſammenfällt. Iſt ein ſolcher nur um eine, durch ſeinen Schwerpunkt gehende Axe beweglich, ſo folgt er der horizontalen Reſultirenden der ihn afficirenden Kräfte.

292. Um eine der gegenwärtigen Entwicklung der Wiſſenſchaft angemeſſene Kenntniß des magnetiſchen Zuſtandes eines Körpers zu haben, iſt es nothwendig, daß man nicht nur ſeine ganze magnetiſche Kraft oder ſein Tragvermögen überhaupt, ſondern auch die Anordnung und Stärke des Magnetismus an verſchiedenen Punkten desſelben zu jeder Zeit anzugeben im Stande ſey. Das Gewicht, wel-

ches ein Magnet zu tragen vermag, gibt für delicate Unterſuchungen kein ſattſam ſcharfes Reſultat. Ein ſolches erhält man aber, wenn man den zu prüfenden Magnet im Schwerpunkte an einem ſehr feinen, biegſamen Faden aufhängt, ihn im magnetiſchen Meridian in Ruhe kommen läßt, dann aus der Lage des Gleichgewichtes bringt und ſich ſelbſt überläßt. Da wird er wie ein horizontales Pendel oſcilliren, und die Anzahl der Schwingungen, die er in einer beſtimmten Zeit vollbringt, ſteht mit ſeiner magnetiſchen Kraft in Verbindung. Iſt nämlich A B (Fig. 308) ein ſolcher Magnet in der Lage des Gleichgewichtes, a b ſeine Lage, in die er durch eine äußere Kraft gebracht iſt, p die ihn richtende magnetiſche Kraft, und der Ablenkungswinkel $BCb = a$; ſo iſt $p \sin a$ die Kraft, welche den Magnet in die Lage A B zurück zu führen ſucht. Da nämlich p in einer mit A B parallelen Richtung wirkt, ſo ſey $bc = p$, und man zerlege ſie in die mit a b parallele b e und in die darauf ſenkrechte b d, und man ſieht leicht ein, daß b e durch den Widerſtand der Axe aufgehoben und die Bewegung nur durch b d beſtimmt wird. Es iſt aber $bd = be \sin bed = p \sin a$. Die Größe p iſt das Product aus dem horizontal wirkenden Theil des Erdmagnetismus und der Kraft des Magnetes, mithin der letzteren Kraft proportionirt, wenn der Erdmagnetismus als unveränderlich angenommen wird. Iſt nun N die Anzahl der Schwingungen, welche zwei gleich geſtaltete und gleich träge Magnete in einer beſtimmten Zeit vollbringen, P und p die Kräfte, welche die Schwingungen unterhalten, ſo hat man

$$N^2 : n^2 = P : p.$$

Denſelben Zweck erreicht man auch durch Beobachtung der Zeiten, in welchen eine beſtimmte Anzahl Schwingungen vollbracht wird. Heißen T und t dieſe Zeiten, P und p die Kräfte, welche die Schwingungen unterhalten, ſo iſt:

$$T^2 : t^2 = p : P.$$

Es iſt klar, daß man auf ſolche Weiſe auch die Kraft desſelben Magnetes unter verſchiedenen Verhältniſſen finden kann.

293. Iſt der Magnet, deſſen Kraft unter verſchiedenen Verhältniſſen unterſucht werden ſoll, vermöge ſeiner Geſtalt oder aus anderen Gründen nicht zum Oſcilliren geeignet; ſo kann man auch dadurch zum Ziele gelangen, daß man ſeine Einwirkung auf die Schwingungen eines kleinern Hilfsmagnetes beobachtet, deſſen Coercitivkraft ſo groß iſt, daß ſein magnetiſcher Zuſtand durch die Nähe jenes Magnetes nicht modificirt wird. Man läßt nämlich dieſen Hilfsmagnet zuerſt unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ſchwingen, und zählt die Anzahl N der Schwingungen, welche er in einer beſtimmten Zeit macht, bringt dann unter ihm den zu prüfenden Magnet ſo an, daß die Richtung ſeiner Einwirkung mit der des Erdmagnetismus parallel iſt, und beobachtet die Anzahl N′ ſeiner nun in derſelben Zeit vollbrachten Schwingungen wieder. Heißt die hier wirkende magnetiſche Kraft der Erde M, die des Hilfsmagnetes M′; ſo iſt offenbar

$$\frac{M + M'}{M} = \frac{N'^2}{N^2} \quad . \; . \; . \; (1).$$

Findet man, nachdem der zu prüfende Magnet eine Veränderung erlitten hat und die Kraft M′ in M″ übergegangen iſt, die Zahl der Schwingungen des Hilfsmagnetes unter dem vereinten Einfluſſe des zu prüfenden Magnetes und des Erdmagnetismus $= N''$, unter dem bloßen Einfluß der Erde aber wieder N; ſo iſt

$$\frac{M + M''}{M} = \frac{N''^2}{N^2} \; . \; . \; . \; (2),$$

mithin aus (1) und (2)

$$\frac{M'}{M''} = \frac{N'^2 - N^2}{N''^2 - N^2}.$$

294. Unterſucht man nach dieſer Methode eine Stahlſtange, nachdem man ſie ein-, zwei- oder dreimal ꝛc. mit einem Magnet geſtrichen hat, ſo erfährt man den Zuwachs der Kraft, den ſie durch jeden Strich erhält, und überzeugt ſich, daß dieſe Zunahme mit jedem folgenden Strich geringer wird, je mehr ſich der magnetiſche Zuſtand der Stange jenem der Sättigung nähert. Jede Umkehrung der Pole eines Magnetes ſchwächt ſeine Empfänglichkeit für den Magnetismus, und es iſt daher ein Stab immer des ſtärkſten Magnetismus fähig, wenn ſeine Pole noch nie umgekehrt worden ſind. Ja ſelbſt wenn man einem Magnet, deſſen Pole umgekehrt worden ſind, ſeine erſtere Polarität wieder geben will, ſo iſt für ihn jene Streichmethode am ausgiebigſten, durch die er zuerſt magnetiſirt wurde. (Quetelet in *Ann. de chim.* 53. 148.) Uebrigens iſt ein Magnet gleich nach dem Streichen, und bevor der Anker weggeriſſen worden iſt, am ſtärkſten, jedes Wegreißen des Ankers ſchwächt ſeine Kraft, aber deſto weniger, je öfter man den Anker bereits weggeriſſen hat; zuletzt kommt man dahin, daß kein weiteres Wegnehmen des Ankers mehr ſchwächend auf die magnetiſche Kraft einwirkt. Weiches Eiſen hält den Magnetismus ſtark und lange, wenn man den Anker nicht wegnimmt, das erſte Wegnehmen des Ankers vernichtet aber gewöhnlich die ganze Kraft desſelben. In einem Bündel gleich ſtark magnetiſirter Stahlſtäbe haben die äußeren ſtets eine ſtärkere Kraft als die inneren, und alle zuſammen überhaupt eine geringere als die Summe der magnetiſchen Kräfte der einzelnen Stäbe war. Dieſes ſcheint anzudeuten, daß auch in einem einzigen Stabe die magnetiſche Kraft von außen nach innen abnehme.

295. Schon durch die bloße Prüfung des Tragvermögens eines Magnetes, noch beſſer aber durch die vorher erklärten Schwingungsbeobachtungen erfährt man den Einfluß des Lichtes, der Wärme und der mechaniſchen Behandlung auf einen Magnet. Jede Erſchütterung ſchwächt den Magnetismus, Schlagen und Stoßen kann denſelben ganz vernichten, die Einwirkung des Lichtes ſoll nach Zantedeſchi (Zeitſch. 1. 365) die magnetiſche Kraft ſteigern. Die Wärme wirkt ſchwächend auf die Kraft ſelbſtſtändiger Magnete. Schon Gilbert hat dieſes erfahren, und Sauſſure hat, um dieſen Einfluß zu erkennen, ein beſonderes Inſtrument (Magnetometer) conſtruirt, bei welchem ein Eiſenpendel durch einen Magnet deſto mehr

aus der Lage, wohin es die Schwere verſetzt, gebracht wird, je mehr jener darauf wirkt. Viel ſchärfere Reſultate erhält man aber mittelſt der Schwingungsmethode, wie ſie Chriſtie, Hanſteen, Kupffer (*Ann. de Chim.* 30. 113) und neueſtens Rieß und Moſer (Pogg. Ann. 17. 403) zu dieſem Behufe angewendet haben. Die Unterſuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf den Magnet das meiſte Licht verbreitet und zu folgenden Reſultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterſcheiden, die eine iſt bleibend, wenn auch die Temperatur, von der ſie hervorgebracht wurde, vorübergegangen iſt, die andere verſchwindet mit der ſie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erſtere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden iſt, und iſt daher im Eiſen anders als im Stahl, im weichen Stahl anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an, und iſt von der Natur des Magnetes unabhängig; jene läßt ſich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen man ſie berechnet. Wird ein Magnetſtäbchen aus weichem Stahl in heißes Waſſer getaucht, nach dem Abkühlen unterſucht, dann wieder eingetaucht, und dieſes Verfahren hinter einander öfter wiederholt, ſo findet man ſeine magnetiſche Kraft nach jedem Eintauchen ſchwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weiſe eine Aenderung ſeiner Natur erlitten hat, aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits den Verſuch vorgenommen hat, und zuletzt benimmt dem Magnet ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zuſtande beſitzt. Magnetiſirt man ihn abermals, bis er ſeine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, ſo wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten ſich ganz anders, ſie verlieren durch Erhitzen mehr als weiche, haben aber nach dem vollſtändigen Erkalten eine ſtärkere Kraft als während des Erkaltens, und verlieren, wenn man ſie mehrmal magnetiſirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis ſie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden, und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem magnetiſirten Eiſen gibt es überhaupt keine ſolche bleibende Einwirkung der Wärme, und da der Magnetismus desſelben kein anderer ſeyn kann, als jener des Stahles, und dieſer eine Schwächung durch Temperaturerhöhung erleidet, ſo geht daraus hervor, daß durch Wärme zugleich die Empfänglichkeit des Eiſens für Magnetismus erhöht wird, und daß ſich im Eiſen beide Wirkungen der Wärme compenſiren.

Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt ſich für cylindriſche, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0.000461)\,(t' - t)\,d$, für Nadeln von 34 L. und etwas darüber nach der Formel $J' = J\,(1 - 0.000324)\,(t' - t)\,d$ berechnen, wo J' und J die Intenſitäten des Magnetismus für die Temperaturen t' und $t°$ R., und d den Durchmeſſer der Nadel in Par. L. bezeichnen. Bei Kupffer's Verſuchen hatte ein Magnetſtab, der von 13° auf 80° R. erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0.85 der vorigen Kraft, aber ſelbſt

als er wieder auf 13° R. abgekühlt war, betrug ſeine Stärke nur 0.94 der urſprünglichen. Soll ein Magnet ſeine Kraft möglichſt unverändert beibehalten, ſo muß man ihn aus glasbartem Stahle verfertigen, nach dem Magnetiſiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Waſſer tauchen, ihn möglichſt vor jeder Erſchütterung ſichern, und das Oxydiren desſelben verhüten. Letzteres ſoll dadurch am leichteſten geſchehen, daß man ihn in Kalkwaſſer liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwaſſer oder in eine wäſſerige Glauberſalzlöſung getaucht und hierauf gut getrocknet worden iſt.

296. Außer der Stärke der geſammten Kräfte eines Magnetes iſt noch die Vertheilung derſelben im ganzen Körper von Wichtigkeit. Dieſe kann man wohl oberflächlich dadurch kennen lernen, daß man den betreffenden Magnet in Eiſenfeile legt, und ſieht, an welchen Stellen ſich dieſelbe am meiſten anlegt, oder indem man ſich kleine Drahtſtücke von möglichſt gleichen Dimenſionen verſchafft, die ſo leicht ſind, daß der Magnet an jeder Stelle wenigſtens eines derſelben zu tragen vermag. Hängt man an jede der zu vergleichenden Stellen des Magnetes zuerſt ein ſolches Drahtſtück, daran ein zweites, drittes ꝛc. und überhaupt ſo viele, als der Magnet zu tragen vermag; ſo wird man natürlich jene Stelle als die ſtärkſte erkennen, wo die meiſten Stücke dieſer Art an einander hängen. Die Pole, als die Mittelpunkte der magnetiſchen Kräfte, findet man leicht mittelſt einer Magnetnadel, in deren Nähe, und zwar ſenkrecht auf die Richtung des magnetiſchen Meridians, man den zu prüfenden Stab hin- und herſchiebt, bis man die Lage trifft, wo die Magnetnadel nicht abgelenkt wird. Da liegt nun der Pol in dem Querſchnitte, in welchem ſich der magnetiſche Meridian befindet, und auf den daher die Magnetnadel hinweiſet. Viel ſchärfere und unter ſich numeriſch vergleichbare Reſultate erhält man aber durch Schwingungsverſuche oder mittelſt der Coulomb'ſchen Drehwage. Um die Vertheilung der magnetiſchen Kraft in einem Magnetſtabe durch Schwingungsverſuche zu finden, bedient man ſich eines kleinen, aus ſehr hartem Stahle verfertigten magnetiſchen Cylinders, der in horizontaler Richtung an einem feinen biegſamen Faden hängt. Den zu unterſuchenden Stab bringt man in verticaler Lage im magnetiſchen Meridiane in die Nähe jenes Cylinders ſo, daß demſelben jener Punkt horizontal gegenüber ſteht, deſſen Magnetismus man erfahren will. Hierauf verrückt man den Cylinder aus dem magnetiſchen Meridiane, läßt ihn um denſelben oſcilliren, und zählt die in einer beſtimmten Zeit vollbrachte Anzahl der Schwingungen. Macht man denſelben Verſuch, während man dem Cylinder immer andere Stellen des Stabes gegenüber ſtellt, und endlich wenn der Cylinder ganz frei unter dem bloßen Einfluß des Erdmagnetismus ſchwingt, ſo kann man das Verhältniß der magnetiſchen Kräfte der unterſuchten Stellen mittelſt der in 293 entwickelten Formel finden. Man darf aber dabei nicht überſehen, daß man dem Nordpole des oſcillirenden Magnetes ſtets die Südhälfte des zu prüfenden und dem Südpole jenes die Nordhälfte dieſes gegenüber ſtellen müſſe.

297. Die magnetiſche Drehwage (Fig. 309) beſteht aus einem prismatiſchen oder cylindriſchen, horizontal ſchwebenden Magnete A (Magnetnadel), der mittelſt eines ſehr feinen elaſtiſchen Drahtes B in einem Glaskaſten aufgehängt iſt. Dieſer Kaſten hat in der Höhe, in welcher ſich die Axe des Magnetes befindet, entweder eine Kreistheilung, oder eine dieſelbe vertretende Chordenſcale C, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes meſſen kann. Der Draht iſt unten durch ein Gewicht D in Spannung erhalten, und oben am Deckel eines cylindriſchen röhrenförmigen Aufſatzes E ſo befeſtigt, daß man ihn heben und ſenken, aber auch winden und zugleich den Torſionswinkel an einer beſonderen Kreisth⸗ilung abnehmen kann. Soll dieſes Inſtrument zu obigem Zwecke gebraucht werden, ſo läßt man die Magnetnadel im magnetiſchen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torſion erleidet, bringt dann zur Seite derſelben den zu unterſuchenden Magnet in verticaler Stellung ſo an, daß er der Nadel ſeine feindliche Polhälfte zuwendet. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Dieſe bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine beſtimmte Größe, z. B. auf 4°, hebt oder ſenkt dann den ſchwebenden Magnet, damit er einem anderen Querſchnitte des verticalen Magnetes gegenüber zu ſtehen komme, und bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel wieder auf die vorige Größe. Denſelben Verſuch nimmt man für jeden zu prüfenden Querſchnitt des verticalen Magnetes vor. Um nun aus dieſen Daten die geſuchten Größen zu finden, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieſes Verſuches auf die Magnetnadel wirken. Die Magnetnadel wird durch den Erdmagnetismus im magnetiſchen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der ſie abſtoßt, ſo tritt ſie aus dem Meridiane und wird in dieſer neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elaſticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel, ſo ändert man dadurch jede der drei Kräfte, und es hält nun das Beſtreben des Magnetes, vermöge des Erdmagnetismus in den magnetiſchen Meridian zurück zu kehren, vermehrt um das Beſtreben des Drahtes ſich aufzuwickeln, den abſtoßenden Kräften der Magnete das Gleichgewicht. Da müſſen nun vorerſt die erſteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Reſultirende finden könne. Dieſes geſchieht, indem man zu erfahren ſucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zuſtande gedreht werden müſſe, damit ſein Beſtreben ſich aufzudrehen, dem Beſtreben des ſchwebenden Magnetes, aus einem beſtimmten Abſtoßungswinkel (in unſerem Falle 4°) in den magnetiſchen Meridian vermöge des Erdmagnetismus zurück zu kehren, das Gleichgewicht halte. Dieſes geſchieht leicht, indem man, wenn die Magnetnadel ſich ſelbſt überlaſſen iſt, und daher im magnetiſchen Meridiane ſteht, den Draht ſo ſtark dreht, bis die beabſichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man dieſe Größe, ſo iſt es leicht einzuſehen, daß der gefundene Torſionswinkel, vermehrt um den

Abſtoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torſion der abſtoßenden Kraft der Magnete proportionirt ſey.

Geſetzt, man habe gefunden, daß eine Torſion des Drahtes von 340° den Magnet um 4° aus dem Meridiane bleibend verrücke, und daß, um dieſe Ablenkung während der Einwirkung einer Stelle eines anderen Magnetes hervorzubringen, die Torſion des Drahtes 420°, während der Einwirkung einer anderen Stelle desſelben Magnetes aber 560° betragen müſſe. In dieſem Falle verhalten ſich die Kräfte dieſer Stellen wie die Zahlen $340 + 4 + 420 : 340 + 4 + 560 = 764 : 904$ oder nahe wie $10 : 12$.

298. Wir verdanken vorzüglich Coulomb und in der neueſten Zeit Kupffer die genaue Unterſuchung der Vertheilung der magnetiſchen Kraft in verſchiedenen Magneten und der Lage ihrer indifferenten Stelle und ihrer Pole. Coulomb hat durch Verſuche mit langen und verhältnißmäßig dünnen, cylindriſchen und prismatiſchen Stäben gefunden, daß die Kraft derſelben in der Mitte gleich Null ſey, und von da zu beiden Seiten bis zu den Endpunkten ſehr ſchnell wachſe, ſo daß, wenn man die betreffende Entfernung von der Mitte des Stabes als Abſciſſe, die ihr entſprechende Kraft als Ordinate verzeichnet, die durch ihre Endpunkte geführte Curve, welche gleichſam die Vertheilung des Magnetismus ſichtbar darſtellt, gegen die Endpunkte des Stabes zu ſchnell ſteigt. Für Stäbe von verſchiedener Länge, deren Dicke $^1/_6$—$^1/_8$ dieſer Länge beträgt, gilt dieſelbe Curve, mithin auch dasſelbe Geſetz der Kraftvertheilung. Dieſe ſchnelle Zunahme der magnetiſchen Kräfte gegen die Enden zu macht, daß die Pole, als die Angriffspunkte der reſultirenden Kräfte einer Magnethälfte immer nahe am Ende der betreffenden Hälfte liegen. Jede Aenderung in der Vertheilung der magnetiſchen Kräfte verrückt natürlich auch die Lage der Pole. Eine ſolche Verrückung wird erzeugt durch die Annäherung eines Magnetes, durch Erwärmen einer Magnethälfte, durch Zuſchärfen oder Abrunden eines Endes, ja ſogar durch die verſchiedene Stellung des Magnetes gegen die Erde, indem nämlich der Magnetismus eines Körpers durch jenen der Erde in einer Lage verſtärkt, in einer anderen geſchwächt wird, wieder in einer anderen dadurch gar keine Affection erleidet.

Die Zunahme der Kraft jedes Magnetpoles gegen ſein Ende iſt eine natürliche Folge der Wirkung der magnetiſchen Elemente auf einander. Man denke ſich eine Reihe ſolcher Elemente A, B, C, D ꝛc. (Fig. 310), deren Nordpole a, a′, a″, a‴ ꝛc., deren Südpole b, b′, b″, b‴ ꝛc. ſind, und betrachte die Wirkung, welche auf jedes einzelne Element von den übrigen ausgeübt wird. Der Pol b des Elementes A wird von den Polen a′, a″, a‴ ꝛc. angezogen, und von den Polen b′, b″, b‴ ꝛc. abgeſtoßen; weil aber die erſteren näher an a liegen als die letzteren, ſo bekommt die anziehende Kraft das Uebergewicht, und durch dieſe wird ein Theil der Kraft von b gebunden, und eben dadurch noch mehr Kraft in a frei. Es hat demnach in A die Kraft des Poles a das Uebergewicht. Auf das Element B wirken die Elemente C, D ꝛc. eben ſo, wie auf A, und auch hier wird die Kraft des Poles a′ die vorwaltende, jedoch weil A auf B eine gleiche aber entgegengeſetzte Wirkung ausübt, wie C, ſo wird die vorwaltende Kraft des Poles a′ kleiner als die des

Poles a u. ſ. f. Ein von anderen Elementen ſymmetriſch umgebenes Element kann keine Kraft äußern und an den auf der entgegengeſetzten Seite liegenden Elementen wird die vorwaltende Kraft die der Pole b‴, b″ ꝛc. ſeyn. Bei einem Verſuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetiſchen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlſtabe angeſtellt hat, ergab ſich, daß die Größe dieſer Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derſelbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieſer Stange 18 L. von jedem Ende entfernt waren. An rautenförmigen langen Magnetſtäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei ſehr kurzen Magneten befinden ſich die Pole um 1/6 der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen ſie nicht immer in einem Durchmeſſer. Bei pfeilartigen Magneten gibt es ſelten conſtante Pole. Man kann den Ort der Pole recht leicht mittelſt eines kurzen weichen, in einer Glaskugel befindlichen Drahtſtückes finden, das man auf einem horizontal liegenden Magnete von der Mitte aus gegen das Ende hinführt; denn an der Stelle eines Poles ſteht dieſes vertical, an jeder anderen Stelle ſchief oder gar horizontal. — Ein bis zur Sättigung magnetiſirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte; wird jenes Ende zugeſpitzt, ſo rückt der Indifferenzpunkt der Spitze näher. Bei einer Erhöhung der Temperatur rückt der Mittelpunkt der Kräfte dem Mittelpunkte der Stange immer näher. Etwas Aehnliches geht vor, wenn eine Eiſenſtange erwärmt wird, die bloß vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur einen Pol eines Magnetes, ſo entfernt ſich der Indifferenzpunkt vom erwärmten Ende, erkältet man ihn, ſo rückt dieſer Punkt näher an den Pol. Letzteres erfährt man am leichteſten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwiſchen zwei in derſelben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung ſenkrechte Magnetſtangen ſo anbringt, daß die Nadel nicht aus dem magnetiſchen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpunkte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun ein Pol einer der zwei Stangen erwärmt, ſo wird die Magnetnadel alſogleich abgelenkt, zum Beweiſe, daß der Indifferenzpunkt verrückt worden iſt. Die Richtung dieſer Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunktes an.

299. Merkwürdig iſt die Veränderung, welche der Magnetismus eines geraden oder hufeiſenförmigen Stahlſtabes während des Streichens erleidet: Setzt man auf ein Hufeiſen, dem der Anker vorgelegt iſt, einen Streichmagnet, ſo wie Fig. 300 zeigt, ſo haftet der Anker augenblicklich feſt, und jedes Ende hat die Polarität des darauf geſetzten Poles. Führt man den Streichmagnet gegen die Wölbung hin, ſo nimmt der Magnetismus jedes Schenkels ab, ohne jedoch ſeine Polarität zu ändern, und erlangt ein Minimum, wenn der Streichmagnet in einer gewiſſen Entfernung von den Endflächen ſteht. Hat das Hufeiſen durch wiederholtes Streichen gegen die Wölbung hin das Maximum ſeiner Kraft erreicht, ſo findet man ſtets in der Nähe der Wölbung an jedem Schenkel einen Folgepunkt. Anders iſt es, wenn der Streichmagnet an der Wölbung aufgeſetzt, und das Streichen von da gegen die Enden vollführt wird (Fig. 301). Da hält, wenn der Streichmagnet aufgeſetzt iſt, der Anker noch gar nicht feſt, und man bemerkt erſt ein Feſthalten desſelben, wenn man mit dem Streichen gegen die Ankerflächen zu auf

eine gewiſſe Stelle gekommen iſt, und dieſes Feſthalten nimmt zu, ſo wie man den Streichmagnet von da den Enden zuführt. Zieht man den Magnet in der Nähe der Endflächen weg, ſo nimmt die magnetiſche Kraft des Hufeiſens während des Wegziehens raſch ab, und iſt, wenn der Streichmagnet das Hufeiſen nur mehr an wenigen Punkten berührt, ganz verſchwunden, ſo daß der Anker von ſelbſt wegfällt, kehrt aber mit neuer Stärke augenblicklich zurück, ſobald der Streichmagnet ganz weggezogen iſt. Dieſes Spiel der Kräfte iſt das Reſultat der gemeinſchaftlichen Wirkung des Streichmagnets, des magnetiſchen Hufeiſens und des Ankers. (Hoffer in Zeitſch. n. F. 2. 360.)

Früher hatte man über den inneren Verlauf beim Streichen einer Eiſenſtange mit einem Magnetpole folgende Vorſtellung: Wenn man den Nordpol eines Magnetes auf das Ende A (Fig. 311) der Eiſenſtange AB aufſetzt, ſo ſoll A einen Südpol und B einen Nordpol erhalten; fährt man nun mit dem Magnete von A nach B, ſo ſoll, ſobald man in B angelangt iſt, B den Südpol und A den Nordpol haben, mithin während der Bewegung des Magnetes A vom Südpol in den Nordpol übergegangen ſeyn, und B umgekehrt vom Nordpol in den Südpol, und es muß jener Magnet ſich auf irgend einem Punkte E befunden haben, während A weder Nord-, noch Südpol war, und eben ſo in D, während dasſelbe mit B Statt fand. E und D heißt der Entdecker Brugmann Indifferenzpunkte. Man muß aber dieſe Indifferenzpunkte von den in jedem Magnete vorhandenen, wo gleichſam die zwei polaren Hälften an einander grenzen, wohl unterſcheiden. Jene finden ſich bei allen Eiſen- und Stahlſtäben, und haben nur bei verſchiedenen Dicken und Längen und bei einem verſchiedenen Grade ihrer Härte, ſo wie bei einer verſchiedenen Stärke des Magnets, auch verſchiedene Lagen. Die Polarität von B, welche durch Berührung des Punktes A mit einem Pole des Magnets erzeugt wird, nimmt nicht augenblicklich ab, wenn man damit von A gegen B fährt, ſondern es bekommt der ſo erzeugte Pol ſeine größte Stärke, wenn ſich der Magnet etwa in C befindet; zieht man den Magnet weiter nach B, ſo nimmt dieſe Polarität wieder ab, wird bei D = o, und geht endlich in die entgegengeſetzte über. Der Punkt C heißt nach van Swinden, deſſen Aufmerkſamkeit wir ſeine Kenntniß verdanken, der culminirende Punkt. (Brugmann's phil. Verſuche über die magnetiſche Materie, aus dem Lateiniſchen, Leipzig 1784.)

300. Die Einwirkung zweier magnetiſchen Elemente auf einander ſteht bei gleicher Entfernung im geraden Verhältniſſe ihrer magnetiſchen Kräfte. Bei ungleichen Entfernungen wächſt ihre Einwirkung, ſo wie das Quadrat ihrer Entfernung abnimmt. Dieſes Geſetz hat ſchon im Jahre 1781 Della Bella bewieſen, Coulomb hat dasſelbe, ohne jene Arbeit zu kennen, mittelſt ſeiner Drehwage und durch Schwingungsverſuche gefunden. Es wurde zu dieſem Ende an die Seite des horizontal ſchwebenden Magnets der Drehwage ein verticaler Magnet geſtellt, der jenen abſtieß. Bei einem Verſuche betrug der Abſtoßungswinkel 24°, wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Verſuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torſion von $24 \times 35° = 840°$ um 24°, und durch eine Torſion von $17 \times 35° = 595°$

um 17°. Es verhielt ſich alſo dieſe ablenkende Kraft beim Abſtoßungswinkel 24° zu der beim Abſtoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie 1 : 2, während ſich die Quadrate der Abſtände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$, oder faſt wie 2 : 1 verhielten. Etwas Aehnliches findet man für die magnetiſche Anziehung. Bei einem Oſcillationsverſuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derſelben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetiſchen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüberhielt, und endlich 41, als dieſe Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhalten ſich die Entfernungen wie 2 : 1, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. i. nahe wie 1 : 4.

301. Ein Magnet ſucht in jedem Körper, in deſſen Nähe er kommt, die beiden Beſtandtheile des magnetiſchen Princips von einander zu trennen und ihn ſelbſt zu einem Magnet zu machen, aber der Erfolg dieſes Beſtrebens iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines ſolchen Körpers iſt. Darum ſind Verſuche über die Einwirkung verſchiedener Körper auf die Richtung eines frei ſchwebenden Magnets oder über die Einwirkung eines Magnets auf einen anderen frei ſchwebenden Körper beſonders geeignet, uns über die Größe der Coercitivkraft in verſchiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umſtände auf dieſelbe Aufſchluß zu geben. Wenn man eiſerne Stäbe nach einander in eine gewiſſe Lage und Entfernung gegen eine ſehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche ſie durch jeden einzelnen erleidet; ſo erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieſer Stäbe. Barlow fand auf dieſem Wege, daß Stäbe von verſchiedener Härte in der Richtung der magnetiſchen Neigung auch verſchieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach ſeinen Verſuchen iſt die Einwirkung des Schmiedeiſens am größten, hierauf folgt weicher Gußſtahl, dann weicher Brennſtahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derſelbe gehärtet, und zuletzt Gußeiſen. Es hat daher Schmiedeiſen die kleinſte, Gußeiſen die größte Coercitivkraft, und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwiſchen beiden. Die Coercitivkraft iſt in demſelben Eiſen bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, beſonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eiſen hufeiſenförmig, ſo kann man zwiſchen die zwei Arme desſelben, die A und B heißen mögen, einen Pol eines Magnetes ſo ſtellen, daß er durch das Eiſen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme desſelben gleich ſtark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eiſen in der Nähe von B bis zum Weißglühen, ſo wird der Magnet von A angezogen, thut man dasſelbe in der Nähe von A, ſo zieht B den Magnet an. Erhitzt man z. B. B bis zum Weißglühen, und hält an den hinteren Theil des Hufeiſens einen Pol eines ſtarken Magnetes, ſo erhält das kalte Ende A einen ſtärkeren Magnetismus als B, ſobald aber beim Auskühlen die Temperatur von B zur Rothglühhitze herabgeſunken iſt, hat B die größere Kraft.

(Barlow in Gilb. Annalen 73. 229. Ritchie in Pogg. Ann. 14. 150.) Hieraus kann man ſchließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eiſens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältigt werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin, daß die Weißglühhitze die Coercitivkraft ſteigere, die Rothglühhitze ſie hingegen ſchwäche. Barlow's Behauptung, daß die Einwirkung eines Magnetes auf Eiſen, welches ſich gerade zwiſchen der Dunkel- und Hellrothglühhitze befindet, die entgegengeſetzte von der ſey, die bei kaltem Eiſen Statt findet, iſt unrichtig. Merkwürdig iſt es, daß ein Stäbchen aus weichem Eiſen, deſſen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwiſchen deren entgegengeſetzten Polen es ſich befindet, nicht überwältigt, und welches daher durch ſie nicht magnetiſch wird, alſogleich als Magnet erſcheint, wenn es in dieſer Lage durch einen harten Körper, wie durch Meſſing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach gerieben wird.

Nach Coulomb gibt es keine Subſtanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich iſt, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen davon afficirt wird; denn kleine frei ſchwebende Nadeln von was immer für einem organiſchen oder unorganiſchen Stoffe nehmen eine beſtimmte Stellung an, wenn man ſie zwiſchen die entgegengeſetzten Pole ſtarker Magnete bringt, und ſetzt man ſie in Schwingungen, ſo werden ſie auffallend durch die Magnete beſchleunigt. Merkwürdig iſt es, daß alle Legirungen, die Eiſen enthalten, ja reines Eiſen ſelbſt, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchſtücken beſteht, zwiſchen den Polen ſtarker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längenaxen mit der Axe der Magnete einen Winkel einſchließen, welches beweiſet, daß ſie ſelbſt magnetiſch geworden ſind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transverſal) liegen. (Seebeck in Pogg. Ann. 10. 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

302. Körper, deren Coercitivkraft gering iſt, werden ſchon durch den Erdmagnetismus in einen magnetiſchen Zuſtand verſetzt, ſobald ſie eine dazu paſſende Lage haben, und dieſes iſt der Fall, wenn ſie ſich außer dem magnetiſchen Aequator befinden. Eine vertical ſtehende weiche Eiſenſtange hat immer unten einen Nordpol, oben einen Südpol, ja nach Hanſteen iſt dieſes mit jedem vertical ſtehenden Körper, ſogar mit Bäumen, Mauern ꝛc. der Fall. In einer Maſſe aus weichem Eiſen oder Stahl bringt das Vorhandenſeyn der abſichtlich durch Magnetiſiren und der durch die Erde erzeugten magnetiſchen Kraft merkwürdige Erſcheinungen hervor. Hat ein ſolcher Körper die Geſtalt eines Stabes, ſo iſt in einer verticalen Stellung desſelben ſein Magnetismus ſtets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt iſt, als wenn er aufwärts gerichtet iſt, weil im erſten Falle die vom Erdmagnetismus erregten Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künſtlich erzeugten zuſammenfallen. Beſonders auffallend iſt das Verhalten regulärer, z. B. ſphäriſcher oder kubiſcher, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerſt Barlow (Gilb. Ann. 73. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher unterſucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel ge-

wiſſe Kreiſe, in welchen ſie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während ſie in anderen Stellungen bald anziehend, bald abſtoßend wirkt. Dasſelbe findet mit Würfeln Statt. Iſt z. B. SN (Fig. 312) eine horizontal ſchwebende Magnetnadel, C ihr Mittelpunkt, I, II, III eine ſtörende Eiſenmaſſe in drei verſchiedenen Lagen, wovon I ſo ſteht, daß der durch den Mittelpunkt der Magnetnadel C gehende magnetiſche Aequator CD den Mittelpunkt der Eiſenmaſſe trifft. In jeder der drei Lagen iſt die Eiſenmaſſe durch den Erdmagnetismus in zwei magnetiſche Hälften getheilt, s ihr Südpol, n ihr Nordpol, während N der Nordpol und S der Südpol der Magnetnadel iſt. s wirkt auf N anziehend und auf S abſtoßend, n hingegen auf N abſtoßend und auf S anziehend. Die Pole n und s wirken auf N ſtärker als auf S, und beide Wirkungen erfolgen zuſammen eben ſo, als wenn N und S in C vereinigt wären. Deßhalb müſſen n und s in I auf C gleich ſtark, aber entgegengeſetzt wirken, und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in II der Pol n und in III der Pol s vorherrſchend auf C wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgeſtoßen, hier angezogen wird. Dieſem gemäß ſind leicht zwei Eiſenmaſſen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengeſetzte Einflüſſe ausüben und ſie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird ſich vorſtellen können, wie die Wirkung einer Eiſenmaſſe auf einen Magnet durch Zugabe einer anderen Eiſenmaſſe, die eine beſtimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne. Von dieſer Art iſt die ſogenannte neutraliſirende Platte, welche Barlow auf Schiffen anbringt, um durch ſie den Einfluß des Eiſens auf den Compaß bei jeder Ortsveränderung des Schiffes aufzuheben.

Viertes Kapitel.

Erdmagnetismus.

303. Es iſt erwieſen, daß die Erde ſelbſt magnetiſche Kräfte beſitzt. Dieſe Kräfte mögen an Stärke, Anzahl und Richtung wie immer beſchaffen ſeyn, ſo haben ſie doch gewiß für jeden Punkt der Erde eine beſtimmte Reſultirende, deren Richtung die Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel anzeigt. Auf die nähere Beſtimmung dieſer Richtung muß nun der Phyſiker vor Allem ausgehen. Sie iſt bekannt, wenn man die magnetiſche Abweichung und Neigung an jedem fraglichen Punkte der Erdoberfläche gefunden hat.

304. Zur Beſtimmung der magnetiſchen Abweichung hat man eigene Inſtrumente, ſogenannte Declinatorien, die meiſtens ſehr complicirt gebaut und koſtſpielig ſind. Allen bis jetzt bekannten macht das von Gauß angegebene den Rang ſtreitig. Dieſes beſteht aus einem 1 — 25 Pfund ſchweren, an Seidenfaden oder Metalldraht hängenden Magnetſtabe von 1 — 4 Fuß Länge und angemeſſener Breite und Dicke. An einem Ende dieſes Stabes iſt ſenkrecht darauf ein kleiner Planſpiegel aufgeſetzt. Der Stab befindet ſich in einem Kaſten,

durch deſſen Decke der Aufhängungsfaden geht, und der ſeitwärts eine Oeffnung hat, welche etwas größer iſt als jener Spiegel. Dieſem gegenüber, etwa in der Entfernung von 16 F. befindet ſich ein Theodolith, deſſen Fernrohr die Axe im magnetiſchen Meridian hat, und auf die Mitte des Spiegels gerichtet iſt. Der Theodolith ſteht etwas höher, als die Magnetnadel hängt, und daher muß das Fernrohr ſtets etwas nach abwärts geneigt ſeyn. Am Stativ des Theodolith befindet ſich eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scale, in einer auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechten Richtung. Der Werth derſelben läßt ſich leicht nach Graden, Minuten und Secunden finden. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feiner, durch ein Gewicht geſpannter Faden herab, und bezeichnet auf der Scala den Punkt (Nullpunkt), welcher mit der optiſchen Axe des Fernrohrs in derſelben Verticalebene liegt. Durch das Fernrohr ſieht man im Spiegel einen Theil der Scale. Richtet man das Fernrohr zuerſt auf ein Object von bekanntem Azimuth, und dann auf das Bild des Nullpunktes der Scale im Spiegel, ſo hat man die zur Berechnung der Abweichung nöthigen Daten.

305. Auch zur Beſtimmung der magnetiſchen Neigung hat man ein beſonderes Inſtrument, welches magnetiſches Inclinatorium heißt. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt noch delicater als die eines Declinatoriums, weil es ſehr ſchwer hält, einen Magnet genau in ſeinem Schwerpunkte zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. Mayer angegebenes, ſehr ſinnreiches Verfahren doch ſehr genaue Reſultate erhalten. Man kann aber auch aus der Anzahl der Schwingungen, welche ein Magnet in einer gewiſſen Zeit macht, wenn er in der Ebene des magnetiſchen Meridians und dann in einer darauf ſenkrechten verticalen Ebene oſcillirt, ſeine Neigung mit großer Schärfe beſtimmen. Oſcillirt nämlich ein Magnet in der Ebene des magnetiſchen Meridians um eine horizontale Axe, ſo wirkt auf ihn die ganze Kraft des Erdmagnetismus $= P$; geſchehen aber die Oſcillationen in einer darauf ſenkrechten verticalen Ebene, ſo bewegt ihn nur der vertical wirkende Theil des Erdmagnetismus. Iſt I die magnetiſche Neigung, ſo iſt letztere Kraft $P \sin I$. Werden in einer gewiſſen Zeit in erſterer Ebene N, in der zweiten n Oſcillationen gemacht, ſo hat man

$$N^2 : n^2 = P : P \sin I, \text{ und daher } \sin I = \frac{n^2}{N^2}.$$

306. Ueber die Stärke der magnetiſchen Kraft der Erde an verſchiedenen Punkten ihrer Oberfläche geben Verſuche mit Schwingungsmagneten die genaueſten Aufſchlüſſe. Der Gauß'ſche Apparat (304) iſt dazu beſonders geeignet, weil die ſchwere Nadel anhaltend in ſehr kleinen Bögen ſchwingt, von fremden Einflüſſen höchſt unabhängig iſt, und ſich die Dauer einer Schwingung mit großer Schärfe beſtimmen läßt. Aus dieſer Dauer läßt ſich mittelſt Rechnung die abſolute Größe des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus finden. Zur Beſtimmung der relativen Größe dieſer Kraft dienen beobachtete Schwingungszahlen, die in beſtimmten Zeiten vollbracht werden (274). Dividirt

man die ſo gefundenen abſoluten oder relativen magnetiſchen Kräfte durch den Coſinus der magnetiſchen Neigung, ſo erhält man die Kraft des ganzen Erdmagnetismus. Man kann auch Inclinationsnadeln im magnetiſchen Meridian oſcilliren laſſen, und dadurch gleich die unzerlegte Erdkraft finden. (Kupffer in Pogg. Ann. 39. 225.) Man nimmt gewöhnlich bei Beſtimmung der relativen Intenſitäten des Magnetismus die von A. Humboldt im Jahre 1799 in Peru beſtimmte Stärke des Erdmagnetismus als Einheit an.

Man darf aber hier, ſo wie bei Schwingungsverſuchen zum Behufe der magnetiſchen Inclination, nicht vergeſſen, daß die Reſultate derſelben nur dann mit einander vergleichbar ſind, wenn der Magnet ſtets dieſelbe Kraft behält oder die Aenderung derſelben in Rechnung gebracht werden kann; denn die Kraft, welche auf ein magnetiſches Pendel wirkt, iſt eigentlich das Product aus der Kraft des Magnetes in die der Erde, und zwei ſolche Kräfte verhalten ſich nur dann wie die Kräfte der Erde, wenn der Magnet ſtets dieſelbe Intenſität behält. (Pogg. Ann. 18. 226; 19. 161; 25. 228. Schweigg. Journ. 57. 79. *Intensitas vis magneticae ad mensuram absolutam revocata autore C. F. Gauss. Goettingae*, 1833. Pogg. Ann. 28. 241, 591.)

307. Die magnetiſche Abweichung iſt, ſo wie alle übrigen Elemente des Erdmagnetismus, in der neueſten Zeit mit beſonderem Fleiße und von ausgezeichneten Gelehrten (Humboldt, Erman, Hanſteen, Arago ꝛc.) unterſucht worden. Die Reſultate dieſer als auch der älteren Beobachtungen ſind folgende: Die Abweichung der Magnetnadel iſt nicht an allen Orten dieſelbe; es gibt Stellen der Erde, wo gar keine Abweichung iſt, und wo daher der Nordpol einer Magnetnadel genau nach dem Nordpol der Erde hinweiſet; in einigen Orten iſt die Abweichung weſtlich, wie z. B. gegenwärtig in ganz Europa, in anderen öſtlich, wie z. B. jetzt an der Weſtküſte von Amerika. Linien, welche durch Orte von gleicher Abweichung gehen, heißen iſogoniſche. Solche Linien von 0° Abweichung gab es im Jahre 1829 auf der Erde nach Erman (Pogg. Ann. 21. 119) nur zwei, doch hat jede mehrere Zweige. Eine dieſer Linien geht durch das Feſtland von Aſien bei Niſchnei Nowgorod, das Ochozker Meer, den großen Ocean, dann durch den Continent von Neuholland zum Südpole der Erde; die andere geht vom Südpole der Erde aus, durchſchneidet den ſüdlichen atlantiſchen Ocean, tritt etwas nördlich von Rio-Janeiro in den amerikaniſchen Continent nnd durchſchneidet Nordamerika. Dieſe beiden Linien ſind ſich an Geſtalt keineswegs völlig ähnlich, und gleichen überhaupt nicht Linien von einfacher Krümmung. Die iſogoniſchen Linien von anderen Abweichungswerthen ſind an Geſtalt ſehr verſchieden. Erman führt vier verſchiedene Formen derſelben an, und zwar 1) geſchloſſene, d. h. ſolche, die in ſich zurückkehren, ohne einen der beiden aſtronomiſchen Erdpole zu erreichen; 2) zurückkehrende, d. h. ſolche, die von einem Erdpole ausgehen und wieder dahin zurückkehren, ohne den anderen Pol zu treffen; 3) kreuzende, d. h. ſolche, die von einem Pole zum andern gehen, endlich 4) ſolche, die ſich an einem Puncte in zwei Zweige ſpalten, in einen zurückkehrenden und in einen kreuzenden.

Die Geſtalt und Lage dieſer iſt keineswegs unveränderlich; denn die Abweichung unterliegt beſtändigen Aenderungen, und die Magnetnadel rückt an einigen Orten jährlich um einige Minuten nach Weſten, an anderen nach Oſten, wieder an anderen bleibt ſie aber einige Zeit ohne merkliche Bewegung. Vor Anfang dieſes Jahrhunderts war die weſtliche Abweichung in ganz Europa im Zunehmen, bald nach Anfang dieſes Säculums blieb ſie einige Zeit unverändert, nun nimmt ſie aber ab, und wird ohne Zweifel, wenn ſie = 0 geworden und dann in öſtlicher Richtung ihr Maximum erreicht hat, wieder zurückkehren. Die ganze Bewegung iſt demnach eine oſcillatoriſche, allein nicht eine einfache, ſondern eine aus mehreren Oſcillationen von kürzerer Dauer zuſammengeſetzte. Man bemerkt nämlich an einer ſehr empfindlichen Magnetnadel, wie die nach Gauß's Methode adjuſtirte iſt, eine tägliche und jährliche Bewegung derſelben. In der nördlichen Erdhälfte bewegt ſich der Nordpol einer Magnetnadel von Morgen zwiſchen 6 — 9 Uhr, wo er den öſtlichſten Stand hat, bis gegen 1 — 2 Uhr raſch nach Weſten, und kehrt dann mit einer geringen Unterbrechung bis 1 — 2 Uhr Morgens allmälich wieder nach Oſten zurück. Nach 1 — 2 Uhr beginnt eine zweite Schwingung von ſiebenſtündiger Dauer, die aber nicht ſo regelmäßig der Zeit nach erfolgt, auch der Größe nach völlig unbedeutend iſt, und mehr als ein unbeſtimmtes Schwanken angeſehen werden kann. Die Zeit des Maximums der weſtlichen Abweichung tritt in den Sommermonaten früher ein, als in den Wintermonaten; alles erfolgt aber in Tiefen, wo keine Temperaturänderung mehr vorgeht, eben ſo wie auf der Erdoberfläche. In der ſüdlichen Halbkugel findet in Bezug auf die Richtung dieſer Bewegungen gerade das Entgegengeſetzte Statt. Die Größe dieſer täglichen Oſcillationen iſt nicht bloß in verſchiedenen Orten, ſondern ſelbſt an demſelben Orte zu verſchiedenen Zeiten verſchieden. Im Allgemeinen wächſt dieſe Größe mit der geographiſchen Breite, und iſt am Aequator am kleinſten, an den Polen am größten. Das jedem Tage entſprechende Mittel der Declination findet zwiſchen 10 — 11 Uhr Vormittags Statt. Dieſer Werth variirt aber von Tag zu Tag, weil die Abweichungsnadel auch einer jährlichen Oſcillation unterliegt. Es geht nämlich ihr Nordpol in der nördlichen Halbkugel vom November, wo er den weſtlichen Stand hat, gegen Oſten, und erreicht im Mai ſeine öſtlichſte Stellung, von wo er wieder nach Weſten zurückkehrt. Innerhalb März und Mai findet das Mittel der jährlichen Abweichung Statt. Aus dem Gebundenſeyn dieſer Veränderungen an fixe Stunden und Monate geht ſchon hervor, daß ſie nicht an allen Orten in demſelben Augenblicke beginnen, ſondern daß der Anfang einer Oſcillation von Oſt nach Weſt (mit der Sonne) fortrücke. Merkwürdig iſt der Umſtand, daß die Declination auch vom Mondesſtande abzuhängen, und daß der Mond den Südpol eines Magnetes anzuziehen ſcheint (Pogg. Ann. 43. 292). Außer dieſen regelmäßigen Bewegungen einer Abweichungsnadel gibt es auch noch unregelmäßige, eigentliche Störungen, denen bald locale, bald allgemeine Urſachen zum Grunde liegen. Dieſe Störungen zeigen ſich

entweder als unruhiges Schwingen der Nadel oder als Abweichung von dem gewöhnlichen Stande. Beide nehmen mit der geographiſchen Breite ab, erſtere ſind aber bei ſchwachen Nadeln und an der Erdoberfläche ſtärker als bei ſtarken Nadeln und in Tiefen von beſtändiger Temperatur. Die ſtärkſten Störungen treten zur Zeit eines Nordlichtes ein, und zeigen ſich ſelbſt an Orten, wo das Nordlicht nicht ſichtbar iſt, erſtrecken ſich auch mit bewunderungswürdiger Gleichzeitigkeit auf ungeheure Entfernungen; indeß hat man derlei Störungen auch anderen Meteoren, z. B. ſtarken Schneefällen, vorangehen geſehen. (Dove in Pogg. Ann. 19. 357. Reſultate des magnetiſchen Vereines ꝛc. Göttingen 1837.)

Nach Gilpin's Beobachtungen beträgt die größte tägliche Variation der Declinationsnadel in London 19′. 6, die kleinſte 10′. 2; Caſſini's Beobachtungen geben in Paris dieſes Maximum mit 15′. 2, das Minimum mit 9′. 1 an. Nach Dove beträgt die mittlere Oſcillation der Declinationsnadel zu Freiberg im Monate März 11′ 12″. 8; im Mai 12′ 41″. 6; im Juni 12′ 58″. 8; im Auguſt 12′ 21″. 2; im September 11′ 25″. 8; im November 8′ 37″. 8; im December 3′ 49″. 8. Nach dreißigjährigen Beobachtungen in Stockholm hat ſich die Abweichung vom Jahre 1786 an, wo ſie 15° 37′ W. war, bis zum Jahre 1808, wo ſie 16° 20′ betrug, um 43′ alſo jährlich um 2′ geändert. In Peking iſt die Abweichungsnadel von December 1831 bis Mai 1832 um 12′ nach Weſt gegangen.

308. Auch die magnetiſche Neigung iſt nicht allenthalben von gleicher Art und Größe. An einigen Theilen der Erde (ganz Europa gehört dahin) ſenkt ſich der Nordpol der Magnetnadel unter den Horizont, an anderen der Südpol, d. h. an einigen Orten herrſcht eine nördliche, an anderen eine ſüdliche Neigung; es ſind aber auch Stellen der Erde, wo es gar keine Neigung gibt. Die Linie, welche durch dieſe Stellen geht, heißt der magnetiſche Aequator der Erde. Die Geſtalt desſelben iſt eine Curve von doppelter Krümmung, mit vielen, zum Theil unregelmäßigen Biegungen, beſonders da, wo ſie durch Continente geht; er ſchneidet den aſtronomiſchen Aequator in zwei Stellen und kommt ihm an anderen ſehr nahe. Indeſſen iſt weder ſeine Lage, noch ſeine Geſtalt unveränderlich, ſondern er rückt jährlich um ein kleines Stück von Oſt nach Weſt, und zwar nicht ganz parallel mit dem Erdäquator, fort. Die Linien, welche durch Orte von gleicher Neigung gehen, heißen iſocliniſche. Dieſe ſind nicht etwa dem magnetiſchen Aequator (der iſocliniſchen Linie von 0°) parallel, doch nähern ſie ſich nach Erman mehr dem Parallelismus als die iſogoniſchen, ſind ſämmtlich geſchloſſen und von doppelter Krümmung. Je mehr man ſich vom magnetiſchen Aequator gegen Norden entfernt, deſto größer wird die nördliche, und je weiter man ihn gegen Süden verläßt, deſto größer wird die ſüdliche Neigung. So wie die Abweichung, unterliegt auch die magnetiſche Neigung beſtändigen Veränderungen; doch hält es ſchwer, dieſelben genau zu beſtimmen, und man iſt hierin noch bei weitem nicht ſo weit als mit der Abweichung. Nach Kupffer hat die magnetiſche Neigung zu Petersburg um 10 Uhr

Abends ihr Minimum, um 10 Uhr Morgens ihr Maximum, doch iſt die Stunde des Maximum beſtändiger als jene des Minimum. Die tägliche Variation iſt im Sommer größer als im Winter. Der Unterſchied iſt im Mai am größten, im December am kleinſten. Gegenwärtig nimmt die magnetiſche Neigung in Europa ab. Nach Hanſteen betrug im Jahre 1780 im mittleren Europa die jährliche Abnahme derſelben 5′—6′, ſank bis zum Jahre 1830 auf 3′ herab, und wird wahrſcheinlich noch vor dem Schluſſe dieſes Jahrhunderts den kleinſten Werth erreichen. Auch plötzliche Aenderungen in der magnetiſchen Neigung ſind ſchon öfters beobachtet worden. (Pogg. Ann. 21. 361; 25. 193; 31. 191, 199.) Hier folgen einige Neigungswerthe (+ bedeutet nördliche, — ſüdliche Neigung).

Sitka 1833	= 71° 35′.5	Freiberg 1830	= 67° 21′.5
Nutka 1793	= 73° 56′	Rom 1830	= 62°
Petropaulowsk 1829	= 63° 54′.5	Marſeille 1798	= 65° 40′ 4
Archangelsk 1830	= 73° 57′.5	Madrid 1798	= 68° 6
Petersburg 1830	= 71° 8′.9	St. Helena 1824	= — 14° 56′.6
Stockholm 1830	= 71° 45′.0	Cap der guten Hoffnung 1792	= — 47° 25′
Chriſtiania 1830	= 72° 9′.8	Otaheiti 1830	= — 30° 29′.5
Göttingen 1814	= 69° 9	Isle de France 1824	= — 53° 51′.2
London 1830	= 68° 37′.5	Rio-Janeiro 1830	= — 13° 38′.9
Brüſſel 1830	= 68° 52′.6	Valparaiſo 1829	= — 40° 20
Paris 1830	= 67° 41′.3	Lima 1823	= — 8° 33′.3
Genf 1830	= 65° 31′.2		
Mailand 1830	= 64° 15′.9		

309. Die Intenſität des Erdmagnetismus iſt keineswegs allerorts gleich, ſondern im Allgemeinen in der Regel deſto größer, je größer die geographiſche Breite eines Ortes iſt; Linien, welche Orte von gleicher magnetiſcher Kraft mit einander verbinden, heißen iſodynamiſche. Dieſe Linien ſind geſchloſſen, aber weder mit dem geographiſchen, noch mit dem magnetiſchen Aequator der Erde, noch unter ſich parallel, wie Fig. 313 zeigt. Daraus erſieht man, daß es in jeder Halbkugel zwei magnetiſche Pole gibt, daß aber der weſtliche (in Nordamerika) eine viel größere Intenſität beſitzt als der öſtliche (in Sibirien), ſo wie überhaupt die magnetiſche Intenſität im Ganzen auf der nördlichen Halbkugel größer iſt als auf der ſüdlichen. Das abſolute Minimum ſcheint im ſüdlichen Afrika, etwa 20° ſ. Br., das abſolute Maximum in der Hudſonsbay zu liegen; jenes iſt kaum größer als 0.8 (nach Erman 0.75), dieſes wahrſcheinlich höher als 1.8, ſo daß ſich demnach die beiden Extreme wie 4 : 9 verhalten. Merkwürdig iſt es, daß die mittlere Wärme bewieſener Maßen in der Nähe von drei Magnetpolen weit geringer iſt als an anderen Orten. Es iſt kaum zu zweifeln, daß auch dieſe Kraft Aenderungen unterliege, doch hat man ſie bis jetzt, der großen Schwierigkeiten der Aufgabe wegen, nicht mit genügender Genauigkeit meſſen können. Aus Kupffers Beobachtungen folgt, daß der Erdmagnetismus abnimmt, wenn ſich der Mond der Erde nähert; auch fand dieſer Gelehrte, daß wenigſtens in Petersburg der Erdmagnetismus des Morgens größer ſey als Abends,

und von September bis April zu wachſen, von da bis September zuzunehmen ſcheine. Uebrigens darf man nicht vergeſſen, daß man von Aenderungen des horizontalen und verticalen Theiles des Erdmagnetismus noch nicht auf Aenderungen der ganzen Erdkraft ſchließen dürfe, weil erſtere auch von Variationen der Neigung abhängen können. (Pogg. Ann. 21. 153; 3. 361; 6. 309; 9. 49. Zeitſchr. 2. 212; 8. 219 und 221. Schuhmacher's aſtron. Nachrichten 9. 303, Pogg. 28. 241.)

310. Von großer Wichtigkeit iſt für den Phyſiker die Frage, wie man ſich den Magnetismus der Erde zu denken habe, um ſowohl das Beſtändige als das Veränderliche der magnetiſchen Phänomene begreifen zu können. Es iſt klar, daß die Erde ihren Magnetismus weder ihrer Stellung im Weltraume, noch ihrem Eiſengehalte verdanke; denn in beiden Fällen wäre dieſer Magnetismus nicht ein ſelbſtſtändiger, und die Wärme müßte ihn erhöhen, während ſie doch der Erfahrung zu Folge auf denſelben ſchwächend einwirkt. Auch dem magnetiſchen Einfluſſe der Sonne kann die Erde dieſe ihre Kraft nicht verdanken; denn wäre dieſes der Fall, ſo müßte der nördliche Magnetismus in der nördlichen, und der ſüdliche in der ſüdlichen Halbkugel nach Aufgang der Sonne wachſen, und in jener die Abweichungsnadel Morgens gegen Oſten, Abends gegen Weſten gehen, welchem die Erfahrung widerſpricht. Demnach iſt der Magnetismus der Erde ein ſelbſtſtändiger, und wird ohne Zweifel, wie die Folge lehren wird, durch electriſche Ströme bedingt. Einige Phyſiker haben es verſucht, den Magnetismus der Erde auf Magnetaxen zu reduciren, und dabei gefunden, daß man zur Erklärung der magnetiſchen Phänomene zwei ſolche Axen im Inneren der Erde annehmen müſſe, die ſich durchkreuzen und deren Bewegungen die Variationen, welche die Erfahrung am Erdmagnetismus nachweiſet, begründen müſſen. Es iſt aber noch eine andere, und wie es wenigſtens vor der Hand ſcheint, naturgemäßere Vorſtellungsart möglich. Man kann ſich nämlich den Magnetismus in der Erdrinde denken, annehmen, daß in der nördlichen Erdhälfte nördlicher, in der ſüdlichen ſüdlicher Magnetismus vorherrſche und ſeine Stärke vom Aequator gegen die Pole zunehme, jedoch nicht in beiden Erdhälften gleichförmig, ſondern auf der ſüdlichen Halbkugel anders als auf der nördlichen. Die Vertheilung dieſer Kraft muß natürlich durch die erwärmende Kraft der Sonne beſtändigen Variationen unterliegen, die eben ſo periodiſch wiederkehren, wie jene Einwirkung der Sonne. Die Rechnung zeigt, daß nur kleine Aenderungen der Wärme erforderlich ſind, um die großen magnetiſchen Veränderungen hervorzubringen, welche die Erfahrung nachweiſet. Demnach wären die Aenderungen des Magnetismus der Erde an die Vertheilung der Wärme in ihrer Rinde gebunden; die täglichen Variationen würden durch die tägliche Ab- und Zunahme der Wärme, die jährlichen durch kleine periodiſche Aenderungen in der mittleren Jahreswärme, die Lage und Geſtalt des magnetiſchen Aequators der Erde in dem Geſetze der Vertheilung der Wärme in beiden Erdhälften, die Geſtalt, die Beſchaffenheit und Größe der Abweichung durch das Geſetz der Wärme-

vertheilung überhaupt der Lage nach beſtimmt. (Moſer in Pogg. Ann. 28. 273; 34, 63. Dove's Repertorium der Phyſik. 2. 238.)

Halley hat vier magnetiſche Pole in der Erde angenommen, Euler zwei; allein da das Geſetz, nach welchem die angenommenen Pole auf einen Magnet wirken, nicht bekannt war, ſo konnte man damals die Richtigkeit dieſer Annahme und ihre Uebereinſtimmung mit der Erfahrung nicht durch Rechnung prüfen. Mayer war der erſte, der, auf Rechnung geſtützt, die Polarität der Magnete aus einem im Innern der Erde angenommenen Magnete herleitete. Biot erklärte die Abweichung und Neigung der Magnete aus kleinen, hie und da zerſtreuten Magneten in der Erde; Steinhäuſer aus der Bewegung eines in der Erde befindlichen, kleinen magnetiſchen Planeten; Hanſteen kehrte wieder zur Annahme zweier Magnete von verſchiedener Stärke zurück, die cylindriſch ſind, ſich im Innern der Erde ſchneiden und ihre Pole tief unter der Oberfläche der Erde haben. Der eine Nordpol ſoll im nordweſtlichen Amerika, der andere im nordöſtlichen Sibirien, ein Südpol unter Neuholland, der andere unter dem Feuerlande liegen. Um die Variationen der Abweichung, Neigung und Intenſität zu erklären, ertheilt er den Polen dieſer Magnete eine Bewegung, und zwar läßt er die beiden Magnetpole der nördlichen Halbkugel ſich nach Oſten, die in der ſüdlichen nach Weſten bewegen. — Die Variationen der magnetiſchen Neigung erklärt man durch die Annahme, die Linie ohne Neigung rücke von Oſt nach Weſt fort und lege in einem Jahre 13⅓′ zurück. Wenn bei dieſer Bewegung die Linie ohne Neigung einem Orte näher kommt, ſo wird die Neigung daſelbſt vermindert, wenn ſie ſich von ihm entfernt, vergrößert. Kupffer ſucht auch die Variationen der Abweichung aus der Bewegung der Linien ohne Abweichung zu erklären. So wie ſich eine ſolche Linie einem Orte nähert, nimmt daſelbſt die Abweichung ab und umgekehrt. Da es mehrere ſolche Linien ohne Abweichung gibt, ſo wird ſich einem Orte die eine nähern, die andere aber davon entfernen, und die Abweichung kann ſich darum nur bis zu einer beſtimmten Größe ändern. Es iſt klar, daß dieſe Bewegungen mit denen der magnetiſchen Erdpole in unmittelbarer Verbindung ſtehen. Foſter und Barlow erklären auch die täglichen magnetiſchen Variationen aus der Annahme, daß die magnetiſche Axe der Erde um ihren mittleren Ort täglich einen Kreis beſchreibe, deſſen Halbmeſſer 2′—3′ im Bogen beträgt. (Zeitſchr. 1. 64, 3. 82, 325 und 332. Berzelius Jahresbericht 1827. S. 51. — Hanſteen's Unterſuchungen über den Magnetismus der Erde. Chriſtiania 1819. Gilb. Ann. 29. 1. und 251.)

Vierter Abſchnitt.

Electricität.

Erſtes Kapitel.

Electriſche Erſcheinungen und Quellen der Electricität überhaupt.

311. Gleichwie Eiſen durch eine gewiſſe Behandlungsweiſe die Kraft erlangt, anderes Eiſen anzuziehen, eben ſo kann jeder Körper, wenn er einer gewiſſen Behandlung unterworfen wird, die Kraft erhalten, andere kleine Körperchen ſchon von einiger Entfernung her anzuziehen. Dieſe Anziehung unterſcheidet ſich aber von der magnetiſchen weſentlich dadurch, daß ſie, ſobald die betreffenden Körper ſich berührt haben, in eine Abſtoßung übergeht. In dieſem Zuſtande heißen Körper **electriſch**, und die ſich ſo äußernde Kraft führt den Namen **Electricität**. Am leichteſten zeigt ſie ſich, wenn man eine Glas- oder Harzſtange mit einem wollenen Lappen reibt und derſelben kleine Papierſchnitzchen nahe bringt. Zuerſt hat man ſie am Bernſtein (electrum) hervorgebracht und ihr darum obigen Namen gegeben. Anziehung und Abſtoßung ſind aber nicht die einzigen Symptome des electriſchen Zuſtandes, ſondern es äußert ſich derſelbe oft auch durch einen vom electriſchen Körper ausgehenden Lichtſchein und durch Entwicklung eines eigenthümlichen, dem des brennenden Phosphors ähnlichen Geruches. Die Anziehung und Abſtoßung zwiſchen den feinen Härchen des Geſichtes in der Nähe eines electriſchen Körpers erregen daſelbſt eine Empfindung, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen.

Die electriſche Anziehung und Abſtoßung erhält man methodiſch mit einer Metallnadel, die wie eine gewöhnliche Magnetnadel mittelſt eines gläſernen Hütchens auf einer feinen Spitze ſpielt, oder mit einem kleinen an einem Seidenfaden hängenden Kork- oder Hollundermarkkügelchen. Nähert man einer ſolchen Nadel oder dem genannten Kügelchen einen electriſchen Körper, ſo tritt ſchon von ferne Anziehung, und, nach erfolgter Berührung zwiſchen dem anziehenden und angezogenen Körper, Abſtoßung ein.

312. Wenn man einen auf Glas ruhenden oder an Seide hängenden Metallkörper mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange berührt, ſo findet man ihn nach der Berührung ſelbſt electriſch, und zwar nicht bloß an der Berührungsſtelle, ſondern an der ganzen Oberfläche. Es iſt ihm alſo Electricität **mitgetheilt** worden. Ver-

fährt man eben ſo, wenn der Metallkörper ſtatt auf Glas oder Seide geſtützt zu ſeyn, unmittelbar oder mittelſt eines anderen Metalles mit dem Boden in Berührung ſteht, ſo findet man an ihm nach der Berührung mit dem electriſchen Körper keine Spur von Electricität. Es muß alſo das Glas oder die Seide das Abfließen der Electricität in die Erde verhindert haben. Daß dieſes wirklich ſo ſey, geht noch aus einem anderen Verſuche hervor: Berührt man nämlich Glas oder Seide mit einem electriſchen Körper, ſo wird es nur an der Berührungsſtelle und kaum über dieſe hinaus electriſch, hat man es aber durch vielfaches Berühren allenthalben electriſch gemacht, und man berührt es hierauf wieder an einer Stelle mit der Hand, ſo verliert es nur an der berührten Stelle ſeine Electricität, während eine electriſche Metallmaſſe durch Berührung an einer einzigen Stelle gleich an der ganzen Oberfläche eine Electricitätsverminderung erleidet. Körper, die ſich wie das erwähnte Metallſtück verhalten, heißen gute Leiter der Electricität; jene hingegen, die dem Glasſtücke in ihrem Verhalten ähnlich ſind, werde ſchlechte Leiter genannt. Indeſſen laſſen ſich nicht alle vorhandenen Körper in dieſe zwei Claſſen bringen; denn der Uebergang von einer in die andere geſchieht nur allmälig ſo, daß einige Körper nicht zu den ſchlechten und nicht zu den guten Leitern gezählt werden können. Dieſe heißt man Halbleiter. Zu den guten Leitern gehören: Alle Metalle, gut gebrannte Kohle, Erze, lebende Vegetabilien und Thiere, feuchte Erde, die meiſten Salze, viele Flüſſigkeiten, Dünſte und Säuren ꝛc. Schlechte Leiter ſind: Alle Harze, Glas, Seide, Haare und Federn, alle durchſichtigen Edelſteine, trockene Metalloxyde, trockene Gaſe, durch Druck tropfbar gemachtes Cyan und Chlor. (Zeitſch. 10. 124.) Zu den Halbleitern gehören: Alabaſter, Marmor, die meiſten Erden und Steine. Die Leitungsfähigkeit hängt von verſchiedenen Umſtänden ab. Soll ein Körper ſeine Electricität behalten, ſo muß er iſolirt, d. h. mit Nichtleitern umgeben werden. Iſolirende, d. h. ſchlecht leitende Körper heißen oft auch Iſolatoren.

313. Wenn man einer beweglichen iſolirten Metallnadel die Electricität einer geriebenen Glasſtange mittheilt, ſo wird ſie von jeder anderen geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, von einer geriebenen Siegellackſtange hingegen angezogen. Eben ſo wird eine Nadel, welcher man die Electricität einer geriebenen Siegellackſtange mitgetheilt hat, von derſelben abgeſtoßen, von einer geriebenen Glasſtange hingegen angezogen. Es iſt demnach die durch Reiben des Glaſes erregte Electricität von der durch Reiben des Harzes erzeugten verſchieden. Bringt man innerhalb eines Glasſturzes zwei Goldblättchen a und b (Fig. 314) an, deren jedes mit einem nach außen gehenden Metallſtift leitend verbunden iſt, und electriſirt ein Plättchen durch eine geriebene Glasſtange, das andere durch eine geriebene Siegellackſtange, ſo ziehen ſie ſich an, und zeigen ſich, nachdem ſie ſich berührt haben, vorausgeſetzt, daß man in der relativen Stärke der beiden Electricitäten das rechte Maß getroffen hat, ganz ohne Electricität. Hat man

die Electricitäten nicht im rechten Maße angewendet, ſo erſcheinen beide Plättchen, nachdem ſie ſich berührt haben, mit der im Uebermaße vorhandenen Electricität. Es können ſich demnach die durch Reiben des Glaſes erregte Electricität und die durch Reiben des Harzes erzeugte gegenſeitig ganz oder zum Theil aufheben wie entgegengeſetzte Größen. Weil man anfangs glaubte, dieſe Electricitäten kommen dem Glaſe und Harze ausſchließend zu, ſo nannte man auch die eine Glaselectricität, die andere Harzelectricität; allein, weil ſie nicht allein im Glas und Harz, ſondern in jedem anderen Körper erzeugt werden, ja ſowohl die eine als die andere im Glas oder Harz erregt werden kann, endlich weil ſich dieſe Electricitäten wirklich wie entgegengeſetzte Größen in der Mathematik verhalten; ſo verfährt man zweckmäßiger, wenn man die eine poſitive (+ E), die andere negative (— E) nennt. Es iſt zwar gleichgültig, welche dieſen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glaſes mit Leder oder Tuch erzeugte die poſitive, mithin die andere die negative. Aus obigem Verhalten der auf gleiche oder auf verſchiedene Weiſe electriſirten Körper folgt das Fundamentalgeſetz, daß gleichnamig electriſirte Körper ſich abſtoßen, ungleichnamig electriſirte hingegen ſich anziehen.

Dieſe von du Fay entdeckte Verſchiedenheit der electriſchen Zuſtände läßt ſich recht augenſcheinlich darſtellen, wenn man einen glatten Harzkuchen an einer Stelle mit einem electriſirten Glaſe, an einer anderen mit electriſirtem Harze berührt, und dieſe Stellen mit feinem Staube bepudert. Dieſer ſtellt ſich an den electriſchen Stellen zu einer beſonderen Figur zuſammen, die bei der Electricität vom Glaſe nach außen ſtrahlig iſt, wie Fig. 315 A, bei der vom Harze hingegen mehr punktirt, wie Fig. 315 B zeigt. Man heißt dieſe Figuren nach ihrem Entdecker, Lichtenberg, Lichtenberg'ſche Figuren. *(De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. I. C. Lichtenberg. Goettingae*, 1778.*)*

314. Die Electricität kann auf ſo mannigfaltige Weiſe erzeugt werden, daß es wohl ſchwerlich eine Veränderung in der Körperwelt gibt, wobei nicht Electricität erregt wird, wenn man dieſes auch nicht immer beabſichtiget. Indeß laſſen ſich alle dieſe Erregungsmittel auf folgende zurückführen: Berührung, Druck, Trennung, Reibung, Formänderung, Temperaturänderung, chemiſche Wirkungen, Einfluß des Magnetismus und die Lebenskraft. Neueſtens will man auch am Lichte und an der beim Schall Statt findenden Molecularbewegung eine electriſirende Kraft gefunden haben, doch iſt man hierüber noch nicht zur Gewißheit gelangt (Schweigg. J. 52. 76; Pogg. Ann. 43. 187). Welche von dieſen Quellen auch wirkſam ſeyn mag, ſo treten doch immer beide Electricitäten, die poſitive und negative zugleich in einem ſolchen Verhältniſſe auf, daß ſie ſich gegenſeitig aufheben können; auch iſt es möglich, wenn man ihrem Abfließen durch ſchlechte Leiter vorbeugt, beide zu ſammeln. Oft leitet man aber abſichtlich eine der beiden Electricitä-

ten in die Erde ab, um ſich deſto ungeſtörter mit der anderen befaſſen zu können. Wir werden in der Folge jede dieſer Quellen näher kennen lernen.

315. Die Electricität kann ſich im Zuſtande des Gleichgewichtes oder im Zuſtande der Bewegung befinden. Erſtere begründet die electriſche Spannung, letztere den electriſchen Strom. Jeder dieſer Zuſtände gibt ſich durch eigene Wirkungen kund, von denen wir eigentlich auf das Daſeyn der Electricität überhaupt und des Zuſtandes derſelben insbeſondere einen Schluß machen. Nicht jedes der vorhin aufgezählten Mittel, Electricität zu erregen, kann dieſelbe in beiden genannten Zuſtänden liefern, und wo dieſes der Fall iſt, da ſind doch faſt immer die Verhältniſſe dem einen Zuſtande günſtiger als dem anderen, und darauf muß man immer bei der Wahl der Mittel, Electricität zu erregen, Rückſicht nehmen.

316. Als Grundurſache der electriſchen Erſcheinungen nimmt man faſt allgemein eine eigenthümliche, unwägbare (ätheriſche) ausdehnſame Flüſſigkeit an, welche electriſche Materie genannt wird. Einige (die Unitarier), an deren Spitze Aepinus und Franklin ſtehen, betrachten dieſe Materie als einfach, und nehmen an, daß der natürliche Zuſtand der Körper in einem Gleichgewichte derſelben beſtehe, während ſie den Zuſtand der poſitiven Electricität als Folge ihrer unnatürlichen Anhäufung, den der negativen als Folge ihres Abganges anſehen. Andere (die Dualiſten) ſind hingegen der Meinung des Robert Symmer, welcher behauptet, die electriſche Materie ſey aus zwei Materien, +E und —E genannt, zuſammengeſetzt, die ſich gegenſeitig anziehen, und mit einander im gehörigen Verhältniſſe verbunden, den natürlichen Zuſtand der Körper begründen, während ein Körper poſitiv electriſch erſcheint, wenn er +E, negativ electriſch, wenn er —E vorwaltend enthält. Nach dieſer Anſicht verhält ſich das electriſche Fluidum wie das magnetiſche, unterſcheidet ſich aber darin weſentlich von demſelben, daß es in allen Körpern zerſetzt werden und ſich nicht bloß im Innern derſelben mit mehr oder weniger Leichtigkeit bewegen, ſondern auch von einem in den anderen übergehen kann. Schlechte Leiter widerſtehen ſeiner Bewegung mit einer gewiſſen Kraft, gute Leiter hingegen geſtatten dieſe Bewegung ohne großen Widerſtand. — Nach der Anſicht der Unitarier wird bei jedem Acte der Electriſirung das electriſche Fluidum in einem Körper angehäuft, und dadurch derſelbe poſitiv electriſch, während der andere Körper, der jenes Fluidum lieferte, negativ electriſch wird. Nach der Anſicht der Dualiſten geht jede Electriſirung gleichſam durch eine doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich. Das electriſche Fluidum der dabei eine Rolle ſpielenden Körper wird zerſetzt, und einer nimmt den poſitiven, der andere den negativen Theil davon auf. Welche von dieſen beiden Anſichten die richtigere ſey, iſt ſchwer zu entſcheiden. Faſt alle Phänomene laſſen ſich nach beiden gleich gut erklären. Es iſt aber noch eine andere, und, wie es ſcheint, der Wahrheit näher kommende Vorſtellungsweiſe möglich, von der in der Folge die Rede ſeyn ſoll. Uebrigens ſind unſere

Kenntniſſe im Gebiete der Electricität noch nicht umfaſſend und vollſtändig genug, um ſchon jetzt die Frage über das Weſen dieſer Naturkraft auch nur mit einiger Hoffnung eines günſtigen Erfolges behandeln zu können. Darum ſoll es ſich in dem Folgenden hauptſächlich um die Geſetze der electriſchen Erſcheinungen und ihren Zuſammenhang handeln, in der Ueberzeugung, daß dadurch der Frage über die Natur des electriſchen Princips am beſten an die Hand gearbeitet wird.

Zweites Kapitel.

Reibungselectricität, Electriſirmaſchine und Electroſkope.

317. Es iſt vorhin geſagt worden, daß nicht jedes Mittel, Electricität zu erregen, gleich geeignet ſey, electriſche Spannung oder einen electriſchen Strom zu erzeugen. Im Gleichgewicht befindliche Electricität (electriſche Spannung) wird am leichteſten und beſten durch Reiben zweier Körper, und zwar eines guten Leiters mit einem ſchlechten gewonnen. Da erhält jeder derſelben einen eigenen electriſchen Zuſtand, und zwar einer den poſitiven, der andere den negativen. Um viel Electricität zu erhalten, muß die Wahl der ſich reibenden Körper zweckmäßig getroffen und das Reiben ſelbſt ſtark und anhaltend ſeyn. Zu deſſen Ende bedient man ſich einer eigenen mechaniſchen Vorrichtung, der **Electriſirmaſchine**, die überdieß noch den Vortheil gewährt, durch einen eigens dazu beſtimmten Beſtandtheil die gewonnene Electricität anzuſammeln. Die Electriſirmaſchine beſteht aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem anderen, der zum Reiben desſelben dient, und aus einem beſonderen Theile zum Auffangen der erregten Electricität. Der zu reibende Körper wird ſo eingerichtet, daß man ihn um eine feſte Axe drehen kann, und hat deßhalb die Form einer Scheibe oder eines Cylinders, oft ſogar, jedoch minder gut, jene einer Kugel oder einer Glocke. Der Körper, welcher gerieben wird, das **Reibzeug**, wird mittelſt Federn an jenen angedrückt. Die entwickelte Electricität wird in einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und iſolirten Körper, dem **Conductor**, geſammelt.

Der geriebene Körper beſteht meiſtens aus Glas, wiewohl er an älteren Maſchinen auch aus Porcellan, Schwefel, Seidenzeug, Holz ꝛc. angefertigt wurde; er hat meiſtens die Geſtalt einer Scheibe, weil ſich dieſe an das Reibzeug am beſten anlegt und demſelben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug iſt ein ledernes Kiſſen, welches mit einem Amalgam überſtrichen wird, das am beſten aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Queckſilber beſteht, und das **Kienmayer'ſche** Amalgam heißt; doch ſoll auch Muſivgold (Schwefelzinn) oder geſchabter Graphit eine gute Wirkung thun. Meiſtens beſteht das Kiſſen ganz aus Leder oder iſt mit Haaren oder gar mit Metallſpänen ausgeſtopft; manche ziehen es aber vor, das Reibzeug gerade nur aus einem Bretchen beſtehen zu laſſen, das mit glattem weichen Leder überzogen iſt. Solcher Reibzeuge braucht man bei einer Scheibenmaſchine vier; ſie werden mit zwei- oder mehrfachen Flügeln aus Wachs-

taffet verſehen, die ſich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Electricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glaſe viel Electricität frei werden, ſo muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit ſie nicht jene des Glaſes durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es iſt aber gut, ſie auch zum Iſoliren einzurichten, damit man auch aus ihnen die E ſammeln, und ſo an einer Maſchine beide E erhalten kann. Der Conductor wird aus Meſſingblech oder aus Packfong verfertiget, er kann aber auch aus Holz beſtehen, das mit Zinnfolie überzogen iſt. Fig. 316 ſtellt eine Scheibenmaſchine vor, in welcher A die Scheibe, B das Reibzeug, C der Conductor iſt. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beſchreibung einiger Electriſirmaſchinen. Stuttgart, 1783.)

318. Die Kraft einer Electriſirmaſchine hängt ab von den Dimenſionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anſchließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und ſeiner gleichförmigen Vertheilung, von der Dicke und iſolirenden Kraft der Taffetflügel an den Reibzeugen, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors, und endlich von der gehörigen Iſolirung aller Theile, welche die Electricität aufzunehmen beſtimmt ſind.

319. An einer guten Electriſirmaſchine laſſen ſich die vorhin erwähnten Erſcheinungen, welche ſich auf das Daſeyn der Electricität, das Verhalten guter und ſchlechter Leiter derſelben, die Verſchiedenheit der poſitiven und negativen Electricität, und ihr gleichzeitiges Auftreten beziehen, leicht und ſehr augenſcheinlich hervorbringen. So wie man die Scheibe dreht, geht die Electricität von ihr in den Conductor über, und ſammelt ſich in demſelben an. Bringt man einen leichten Körper in deſſen Nähe, ſo wird er erſt angezogen, und ſobald er den Conductor berührt hat, wieder abgeſtoßen. Dieſe Anziehung herrſcht rings um den Conductor in einer oft ſehr bedeutenden Entfernung. Man nennt den Raum, innerhalb welchem ſie Statt hat, electriſche Atmoſphäre. Nähert man dem Conductor einen guten Leiter, z. B. den Knöchel eines Fingers, ſo geht ein Funke in denſelben über, ſteht der Menſch dabei auf einem iſolirten Stuhle (Iſolirſchemmel), ſo ſammelt ſich die Electricität in ihm, und man kann ihm, wie vorhin dem Conductor, an jedem Theile des Körpers Funken entziehen; ſeine Haare, die ebenfalls Electricität angenommen haben, ſträuben ſich, und gehen büſchelförmig aus einander. Iſolirt man das Reibzeug, ſo kann man von dieſem eben ſo wie vorhin von der Scheibe, Electricität erhalten, doch iſt ſie jener des Conductors entgegengeſetzt. Verbindet man Reibzeug und Conductor mit einander, ſo zeigt ſich keine Spur einer frei gewordenen Electricität, ſo ſtark und raſch man auch die Scheibe drehen, und ſo wirkſam die Maſchine auch ſonſt ſeyn mag. In dieſem Falle ſtellt ſich am Conductor und Reibzeug ein electriſcher Strom her, deſſen Phänomene von jenen der Spannung, von welchen ſo eben die Rede war, ganz verſchieden ſind.

Auf den Erſcheinungen der electriſchen Anziehung an einer Electriſirmaſchine beruhen eine Menge electriſcher Spielwerke, z. B. die electriſche Spinne, der elect. Tanz, das elect. Glockenſpiel, der elect. Hagel, das elect. Vogelneſt ꝛc.

320. Die electriſche Spannung äußert ſich durch Anziehung und Abſtoßung, dieſe aber erkennt man mittelſt eigener Inſtrumente, die Electroſkope genannt werden. Es gibt deren eine große Anzahl, aus der aber nur das Kugelelectroſkop, das Bennet'ſche, Volta'ſche und Henley'ſche hervorgehoben werden ſoll. Das Kugelelectroſkop zeigt Fig. 317. Es beſteht aus zwei an feinen iſolirenden Fäden hängenden Kork- oder Hollundermarkkügelchen, die ſich im natürlichen Zuſtande berühren, im electriſchen aber deſto mehr von einander divergiren, je mehr ſie electriſirt ſind. Das Bennet'ſche Electroſkop (Fig. 318) hat ſtatt der Kugeln feine Goldplättchen, die von einem gemeinſchaftlichen Stiel ausgehen, und zur Abhaltung des Luftzuges in ein Glasgefäß eingeſchloſſen ſind, das einen leitenden Boden hat, und ſeitwärts mit Streifchen Zinnfolie belegt iſt, um die Electricität der Blättchen, wenn ſie bis zum Anſchlagen divergiren, aufnehmen und ableiten zu können. Volta's Electroſkop hat ſtatt der Goldblättchen feine Strohhalmfaſern, und zum Meſſen ihrer Divergenz einen getheilten Gradbogen. Henley's Electroſkop (Fig. 319) beſteht aus einem zarten Holzſtängelchen, das an einem Ende eine kleine Korkkugel trägt, am anderen aber am Centrum eines getheilten Halbkreiſes ſo befeſtiget iſt, daß es im Falle der Electriſirung von der Säule, die das Ganze trägt, in einer mit der Ebene des Gradbogens parallelen Ebene abgeſtoßen werden, und man den Abſtoßungswinkel meſſen kann. Dieſes Inſtrument wird in der Regel am äußerſten Ende des Conductors jeder Electriſirmaſchine angebracht, und bildet demnach gleichſam einen Beſtandtheil dieſes Apparates.

Drittes Kapitel.

Geſetze der Electricität im Gleichgewichte (Electroſtatik).

321. Um zur Kenntniß der Geſetze des Gleichgewichtes der E oder der electriſchen Spannung zu gelangen, muß man die Menge der E an jedem Punkte des Körpers, in welchem ſie ſich im Gleichgewichte befindet, ausmitteln können. Dieſe läßt ſich aber nicht unmittelbar, ſondern nur aus Wirkungen, die mit ihr in beſtimmter Relation ſtehen, erkennen. Eine ſolche iſt die electriſche Anziehung und Abſtoßung, und die Beſtimmung dieſer darum die Baſis aller Unterſuchungen über die Menge der an einer beſtimmten Stelle eines Körpers angehäuften ſtatiſchen Electricität. Wenn es ſich bloß darum handelt, zu erfahren, welche von zwei Electricitätsmengen die größere iſt, ſo braucht man ſich nur eines Electroſkops zu bedienen, wenn aber das Verhältniß dieſer Menge numeriſch beſtimmt werden ſoll, ſo braucht

man ein eigenes electrometriſches Inſtrument, nämlich die electriſche Wage. Dieſe unterſcheidet ſich nach Coulomb's Angabe und den von Faraday neueſtens angebrachten Verbeſſerungen von der magnetiſchen Wage darin, daß ſich an der Stelle des an einem feinen elaſtiſchen Faden (am beſten von Glas) hängenden Metallſtabes ein leichter Hebel aus Schellack befindet, der an einem Ende eine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen aus Goldpapier, am anderen aber eine zur Aequilibrirung des Stäbchens paſſende Maſſe trägt. Im natürlichen Zuſtande ruht der Schellackhebel in der Verticalebene, wo ſich der Nullpunkt der Eintheilung des Glaskaſtens befindet, und das Papierſcheibchen oder die leitende Kugel berührt eine andere auch leitende Kugel, die von außen und oben in den Kaſten geſchoben und wieder heraus genommen werden, und mittelſt welcher man dem Hebel Electricität mittheilen kann. Sowohl oberhalb als unterhalb der Theilung des Glaskaſtens befindet ſich rings um den Kaſten ein Streifen von Zinnfolie, beide Streifen ſind ſowohl unter ſich als mit der Erde leitend verbunden, und innerhalb des Kaſtens iſt auf einem Glastiſchchen geſchmolzene Pottaſche angebracht, die mit einem Drahtnetze umgeben iſt, und die Beſtimmung hat, die Luft trocken zu erhalten, und darum auch nur gebraucht wird, wenn dieſe Trockenheit beabſichtiget iſt. Um mit der Drehwage die Größe der electriſchen Abſtoßung zu meſſen, theilt man der Kugel der Wage und dadurch der ſie berührenden Scheibe des Hebels E mit, worauf dieſe ſich abſtoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine beſtimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung von oben eine Windung nach einer der Abſtoßung entgegengeſetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abſtoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von ſeiner natürlichen Lage vergleichen; ſo darf man nur die Torſion des Drahtes, welche nöthig iſt, um dem Hebel in beiden Fällen einerlei Stellung zu geben, durch die Größe des Abſtoßungswinkels vermehren, und die ſo erhaltenen Zahlen verhalten ſich wie die Repulſionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 185° ertheilen müſſen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; ſo verhalten ſich die Repulſionen wie $70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195$. Auf ähnliche Weiſe verfährt man beim Meſſen der electriſchen Anziehung. Zum Uebertragen der Electricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die ihm gegenüberſtehende Kugel, dient am beſten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an dem man es hält. Dieſe heißt darum auch die Probeſcheibe.

Zur Kenntniß der Anziehung, mit welcher ein electriſcher Körper auf einen anderen nicht electriſchen wirkt, führen auch Schwingungsverſuche. Man hängt ein leitendes Drahtſtück an einem zarten Faden auf, ſo daß es in horizontaler Lage ſchwebend bleibt, läßt es zuerſt unter dem bloßen Einfluſſe der Elaſticität des Fadens in der horizontalen Ebene ſchwingen, und zählt die Anzahl der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Oſcillationen. Hierauf bringt man den electriſchen Körper, um den es ſich handelt, in die Nähe dieſes Drahtes, und wie-

derholt den Schwingungsverſuch unter dem Einfluſſe dieſes Körpers. Da iſt nun die Differenz der Quadrate beider Schwingungszahlen eine Größe, welche mit der Stärke der electriſchen Anziehung in Relation ſteht.

322. Die abſtoßenden und anziehenden Kräfte ſind, bei gleichen Entfernungen, den Intenſitäten der E direct proportionirt und ihr angemeſſenſter Maßſtab. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine iſolirte Kugel electriſirt, ſie dann mit der Probeſcheibe berührt, ihre Electricität in die Coulomb'ſche Wage überträgt, und die Größe der Abſtoßung beſtimmt. Berührt man dieſe Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, ſo wird offenbar die Electricität jedes ihrer Punkte auf die Hälfte reducirt; wenn man dann wieder die Größe ihrer abſtoßenden Kraft beſtimmt, ſo findet man ſie auch nur halb ſo groß, als im erſteren Falle.

323. Bei ungleichen Entfernungen befolgen die Anziehungen und Abſtoßungen ein anderes Geſetz, das man leicht ausmittelt, wenn einmal bekannt iſt, in welchem Verhältniſſe dieſelbe electriſche Kraft abnimmt, wenn die Entfernungen in einem gewiſſen Verhältniſſe wachſen. Dieſes Geſetz hat Coulomb mit ſeiner Drehwage ausgemittelt, und Egen hat die Richtigkeit ſeiner Reſultate durch ſehr genaue Verſuche beſtätiget. Es heißt: Die Größe der electriſchen Anziehung und Abſtoßung ſteht im verkehrten Verhältniſſe der Quadrate der Entfernung der auf einander wirkenden Körper. Zur Ausmittelung dieſes Geſetzes hat Coulomb folgenden Verſuch angeſtellt: Er drehte den Hebel mittelſt des Drahtes ſo, daß die Kugel des Hebels die ihm gegenüberſtehende ohne Windung des Drahtes berührte, theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Electricität (mittelſt des Kopfes einer iſolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° abgeſtoßen wurde. Drehte er nun abermals den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreiſe des Gehäuſes, ſo fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abſtand. Es verhielt ſich daher die Stärke der electriſchen Kraft in beiden Abſtänden wie $36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4$, die Abſtände waren aber im Verhältniſſe $2 : 1$. Auf ähnliche Art verfuhr er, um das Geſetz der Anziehung zu finden, welches zwiſchen Körpern, deren electriſche Zuſtände einander entgegengeſetzt ſind, Statt findet.

324. Da man bei Verſuchen über die Anordnung der E in einem Körper nur einen Punkt nach dem anderen unterſuchen kann; ſo iſt klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwiſchenzeit der Körper einen Theil ſeiner E verloren hätte, und man nicht darauf Rückſicht nähme. Ein ſolcher Verluſt iſt aber unvermeidlich, indem auch der auf das beſte iſolirte Körper theils den iſolirenden Stützen, theils der Luft, beſonders wenn ſie feucht iſt, immer etwas von ſeiner E mittheilt. Man wird alſo nur dann bei Verſuchen über die Anordnung der E in einem Körper zu einem richtigen Reſultate gelangen, wenn man im Stande iſt, dieſen Verluſt

in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall iſt, wenn man das Geſetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

325. Um das Geſetz des E Verluſtes kennen zu lernen, hat Coulomb den Verluſt durch die unvollkommen iſolirenden Stützen von dem durch die Luft abgeſondert. Er überzeugte ſich zuerſt davon, daß eine Schellackſtange von $^1/_2$ L. Dicke und 18—20 L. Länge eine mäßig electriſirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmeſſer 5—6 Linien beträgt, vollkommen iſolire: denn ihr Electricitätsverluſt war gleich, ſie mochte durch ein oder durch mehrere ſolche Stängelchen getragen werden. Wurde daher eine Schellackſtange, wie die angegebene, als Hebel einer Wage gebraucht, und die genannte Hollundermarkkugel dem Hebel gegenüber geſetzt; ſo konnte man gewiß ſeyn, daß der Electricitätsverluſt, den ſie erleidet, bloß auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieſer Verluſt in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſtets der Intenſität der E proportionirt, übrigens aber vom Leitungsvermögen des electriſchen Körpers, und bei einer geringen electriſchen Spannung, auch von der Geſtalt dieſes Körpers unabhängig ſey. Da man nun den E Verluſt einer Kugel kannte, die mittelſt einer Schellackſtange vollkommen iſolirt war, und daher bloß der Luft E abgeben konnte; ſo brauchte man nur den Verluſt desſelben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasſtange getragen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verluſt durch die Luft abzuziehen, um den Verluſt durch unvollkommene Iſolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand man, daß ſich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umſtänden nach der Intenſität der E richte, und ſo wie dieſe Intenſität abnehme. — Man ſieht hieraus, daß für ſehr kleine Grade der Electricität faſt alle Körper völlige Nichtleiter ſind, ſo daß es gar nichts Ungereimtes wäre, zu behaupten, es befinde ſich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewiſſes Quantum freier Electricität.

Bei einem von Coulomb angeſtellten Verſuche, wo der Verluſt bloß durch die Luft erfolgte, war die abſtoßende Kraft der E einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach einer Minute mußte man dieſe Windung um 6° vermindern, um denſelben Abſtoßungswinkel zu erhalten, ſo daß nun die Abſtoßung nur einer Windung von 264° entſprach. Die mittlere Electricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270 + 264}{2} = 267°$ proportionirt, und von dieſer betrug der 6° entſprechende Verluſt $\frac{6}{267} = \frac{1}{44.5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieſer Verluſt in 1 M. in der Regel $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, bei feuchter Luft ſteigt er oft auf $\frac{1}{10}$ der mittleren Spannung.

326. Wenn einem leitenden Körper E mitgetheilt wird, ſo ſammelt ſich dieſe ganz auf ſeiner Oberfläche und bildet daſelbſt eine dünne Schichte. Davon überzeugt man ſich durch viele Verſuche. Deckt man die Oberfläche einer Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit iſolirten Handgriffen verſehenen Schalen, und theilt ihr dann E mit;

ſo findet man ſie nach Wegnahme dieſer Schalen ganz ohne E, zum Beweiſe, daß die E in den Schalen, mithin an der Oberfläche, ihren Sitz hat. Electriſirt man eine mit einem Loche verſehene Kugel, ſo zeigt eine in dieſes Loch geſenkte Probeſcheibe, nachdem man ſie ſorgfältig, ohne Berührung der Ränder herausgenommen hat, keine Spur von E. Die Wirkungen der an der Oberfläche eines Körpers angehäuften Electricität richten ſich nicht bloß nach der abſoluten Electricitätsmenge, ſondern auch nach dem Verhältniſſe derſelben zur betreffenden Oberfläche, d. h. nach der Dichte der Electricität. Letztere, nicht erſtere beſtimmt eigentlich die Größe der electriſchen Spannung (Tenſion, Intenſität).

327. Die Electricität ordnet ſich auf der Oberfläche eines Körpers immer ſo an, daß die Wirkungen der einzelnen Elemente der Oberfläche auf einen Punkt im Innern der Maſſe des Körpers ſich gegenſeitig aufheben. Dieſes Geſetz gibt die Grundlage der Rechnungen über die Anordnung der E in leitenden Körpern ab, und führt zu Reſultaten, welche durch die Erfahrung auf das Genaueſte beſtätigt werden. Verſuche lehren z. B., daß die E auf einer Kugel nach allen Seiten eine gleich dichte Schichte bilde, und obiges Geſetz führt zu demſelben Reſultate, wie man ſich leicht auf folgende Weiſe überzeugen kann. Es ſey Fig. 320 ein größter Kreis einer Kugel, in welchem zwei, unter einem kleinen Winkel ſich ſchneidende Sehnen ab und de gezogen ſind. Man denke ſich mit dem Durchmeſſer ad und be auf der Oberfläche der Kugel Kreiſe beſchrieben, und unterſuche die Dichte der daſelbſt angehäuften E unter obiger Bedingung. Es ſey die Dichte der Electricitätsſchichte in ad gleich I, die in be gleich i, und daher $I.ad^2$ und $i.be^2$ die daſelbſt angehäuften Electricitätsmengen; die Wirkung auf c von Seite der erſteren muß gleich $\frac{I.ad^2}{ac^2}$, und von Seite der letzteren gleich $\frac{i.be^2}{bc^2}$ ſeyn, und man hat $\frac{I.ad^2}{ac^4} = \frac{i.be^2}{bc^2}$. Allein es iſt $\frac{ad}{ac} = \frac{be}{bc}$, mithin auch $I = i$. An einem elliptiſchen Körper verhält es ſich anders. Da hat die E an den mehr gekrümmten Stellen eine größere Dichte als an den minder gekrümmten, ſo zwar, daß, wenn eine Axe des Ellipſoides etwa zehnmal größer iſt, als die andere, die E an den Endpunkten jener 100 mal dichter iſt als an den Endpunkten dieſer. An zugeſpitzten Körpern iſt der Unterſchied der Dichte der E gar groß, ja die Rechnung zeigt, daß die Dichte an einer Spitze unendliche Male größer ſey, als an den flachen oder abgerundeten Stellen desſelben Körpers, ſo daß man daraus recht wohl begreift, warum die E an den Spitzen ſtets im Stande ſey, die ſchlecht leitende Luft zu durchbrechen und daſelbſt abzufließen, und auch, warum die E durch Spitzen ſo leicht aufgenommen werde. Werden zwei ſich berührende Kugeln von ungleicher Größe electriſirt; ſo erhält ihre Berührungsſtelle gar keine Electricität, in einiger Entfernung davon beginnt dieſe merklich zu werden, wächſt aber bei der kleineren Kugel ſchneller als bei der größeren, und

der Berührungsſtelle entgegengeſetzt erhält die kleinere mehr Electricität als die größere. Hebt man die Berührung der Kugeln auf, und entzieht ſie ihrem gegenſeitigen Einfluſſe, ſo vertheilt ſich die Electricität auf jeder derſelben gleichförmig, doch erſcheint ſie auf der kleineren in dem Maße ſtärker als auf der größeren, als ihr Durchmeſſer kleiner iſt, das Verhältniß der Electricitätsintenſitäten überſchreitet aber nie jenes von 1 : 1.65. Auch dieſe Vertheilung der Electricität auf beiden Kugeln iſt von der Natur und Größe ihrer Maſſe unabhängig.

328. Unterſucht man die Intenſität der E eines Körpers an verſchiedenen Punkten zu verſchiedenen Zeiten, nachdem er entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Iſolirung einen Theil ſeiner E verloren hat; ſo überzeugt man ſich, daß das Verhältniß dieſer Intenſitäten an verſchiedenen Punkten ſtets dasſelbe bleibt, die abſolute Menge der E mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Dieſe Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der E auch jedes Element des electriſchen Körpers doppelte oder dreifache E bekomme, und daß ſich größere und kleinere Electricitatsmengen ſtets nach demſelben Geſetze anordnen und ins Gleichgewicht treten.

Viertes Kapitel.

Inducirte electriſche Spannung und darauf beruhende Apparate.

329. Die im Gleichgewichte befindliche Electricität afficirt nahe gebrachte gute Leiter auf eine eigene höchſt merkwürdige Weiſe, indem ſie in denſelben, ohne in ſie überzugehen, Zuſtände der electriſchen Spannung hervorruft, die aber nur ſo lange dauern, als der electriſche Körper in der Nähe iſt, mit der Entfernung desſelben aber in der Regel wieder verſchwinden. Man nennt einen ſo erzeugten electriſchen Zuſtand einen inducirten, und die ihm vorangehende Einwirkung Induction oder Electriſirung durch Vertheilung. Zu Verſuchen hierüber braucht man einen länglichen iſolirten Leiter, wie z. B. einen etwa 3 L. dicken, 10—12 Z. langen, an beiden Enden rund gefeilten, mit einem iſolirenden, ſenkrecht daran befeſtigten Handgriffe verſehenen Draht (Fig. 321), der an mehreren Stellen, unter anderen auch an den Enden mittelſt Leinenfäden Korkkügelchen trägt, die eben ſo viele Kugelelectroſkope vorſtellen. Stellt man dieſen dem z. B. mit $+E$ geladenen Conductor einer Electriſirmaſchine in verticaler Lage gegenüber, ſo bemerkt man daran Folgendes: 1) Die am Drahte hängenden Kügelchen ſtoßen ſich ab, und zeigen dadurch, daß der Draht electriſch geworden ſey. 2) Die Divergenz dieſer Kugeln iſt an beiden Enden des Leiters am größten, wird gegen die Mitte zu immer ſchwächer, und nahe an der Mitte gibt es eine Stelle, wo, wenn ſich dort derlei electroſkopiſche Kugeln befinden,

gar keine Divergenz derſelben Statt hat. Es iſt alſo der Leiter an den Enden am meiſten, in der Mitte weniger, an einer Stelle gar nicht electriſch. 3) Unterſucht man die Beſchaffenheit dieſer E, ſo findet man, daß das dem Conductor zugekehrte Ende — E, das davon abgewendete + E hat. Es iſt daher der Leiter ganz anders electriſirt, als es durch Mittheilung electriſirte Körper zu ſeyn pflegen, indem hier beide E und zwar in einem guten Leiter zugleich und doch getrennt vorkommen. 4) Zieht man den Leiter vom Conductor zurück, ohne ihn zu berühren, ſo fallen die Kugeln zuſammen, und es iſt kein Zeichen eines electriſchen Zuſtandes an demſelben mehr bemerklich, zum abermaligen Beweiſe, daß die hier Statt gehabte Electriſirung von der durch Mittheilung weſentlich verſchieden ſey. 5) Berührt man den Leiter, während er ſich unter dem Einfluſſe des Conductors befindet, an irgend einer Stelle, wo E herrſcht, mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, der Leiter verliert die E an der zu dieſer Stelle gehörigen Hälfte, die mit der anderen entgegengeſetzten E behaftete verliert dadurch nicht bloß nichts, ſondern ihr E ſcheint ſogar ſtärker zu ſeyn als vorher. Letztere E nennt man darum gebundene E, im Gegenſatze mit der freien, die einem dargebotenen Leiter folgen kann. Nimmt man nun nach geſchehener Berührung den Leiter aus der Wirkungsſphäre des Conductors, ſo erſcheint er durchaus mit — E. Es iſt daher dieſe E frei geworden. 6) Alle dieſe Phänomene laſſen ſich ſo oft hervorbringen, als man will, ohne ſchwächer zu werden, wenn nur der Conductor gehörig electriſirt iſt. Uebrigens verliert derſelbe durch ſolche Verſuche nichts von ſeiner E.

Wenn man dem der inducirenden Wirkung ausgeſetzten Körper eine ſolche Lage gegen den Conductor gibt, daß dieſe Wirkung ſenkrecht auf die Electroſkope erfolgt, ſo erhält man die beſagten electriſchen Erſcheinungen nicht ſo deutlich. Prüft man dieſe Zuſtände nicht unmittelbar am Leiter ſelbſt, ſondern mittelſt Berührung mit einem abgeſonderten Electroſkope, ſo können ſogar von den aufgezählten abweichende Reſultate erhalten werden, die leicht zu unrichtigen Schlüſſen über die Inductionsgeſetze führen können. (Pfaff in Schweigg. J. 61. 391; Pogg. Ann. 44. 332; Rieß ebend. 37. 642.)

330. Die inducirende Kraft eines electriſchen Körpers wirkt nicht, wie man ſonſt glaubte, ohne materielles Zwiſchenmittel in die Ferne, ſondern ſie afficirt nur die unmittelbar auf einander folgenden materiellen Theile. So z. B. iſt in den vorhin benannten Inductionsphänomenen die Luft das Mittel, durch welches der Conductor auf den Leiter wirkt. Stellt man eine Glastafel dazwiſchen, ſo iſt es zugleich Luft und Glas. Verſchiedene feſte und tropfbare Iſolatoren üben ſelbſt bei einerlei Dicke und derſelben Ladung des Conductors eine verſchiedene Wirkung aus, und man kann daher jedem derſelben eine ſpecifiſche Vertheilungscapacität zuſchreiben, welches wohl nicht ſeyn könnte, wenn die Induction eine reine Wirkung der E in die Ferne wäre. Verſchiedene Körper, Gaſe ausgenommen, ſcheinen auch verſchiedene Inductionscapacitäten zu beſitzen.

Nach Faraday's Verſuchen iſt, wenn man die Inductionscapacität der atmoſphäriſchen Luft = 1 ſetzt, jene des Schellacks = 2, des Flintglaſes = 1.76, des Schwefels = 2.24; Terpentinöhl und Naphta ſcheinen eine größere Capacität als Luft zu beſitzen. Aenderungen der Dichte, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft ſcheinen ihre Inductionscapacität nicht zu afficiren.

331. Die eben erwähnten Geſetze der Induction geben uns wichtige Aufſchlüſſe über die Natur des electriſchen Princips. Sie lehren, daß jeder Körper dieſes Princip, und zwar ſowohl das poſitive als das negative in ſich enthalte, und daß die Vereinigung beider den natürlichen Zuſtand der Körper begründe. So wie ſich aber die beiden Principe desſelben Körpers gegenſeitig binden und ſich hindern können, in dargebotene Leiter überzugehen, eben ſo kann eine von außen einwirkende E auf die entgegengeſetzte E eines Körpers wirken, und ſie von ihrem natürlichen Bande befreien. Auch über den inneren Verlauf bei der Mittheilung der E geben uns die Inductionsgeſetze Aufſchluß. Sobald nämlich ein Körper in die electriſche Atmoſphäre kommt, wird er ſelbſt durch Vertheilung electriſch, und die Anziehung, welche er erfährt, iſt das Reſultat des Beſtrebens der zwei entgegengeſetzten Electricitäten, ſich zu vereinigen. Je näher er dem anziehenden Körper kommt, deſto mehr E wird in ihm durch Vertheilung entwickelt, und deſto größer iſt das Beſtreben der entgegengeſetzten E, ſich zu vereinigen, bis endlich, bei einer gewiſſen Entfernung (Schlagweite) beider Körper von einander, die zwei entgegengeſetzten Electricitäten ſich vereinigen und ſich gegenſeitig neutraliſiren, ſo daß dem durch Vertheilung electriſirten Körper nur mehr jene E übrig bleibt, welche mit der des anderen gleichnamig iſt, und daher auf ſie abſtoßend wirkt. Demnach geht die ſogenannte Mittheilung nicht ſo vor ſich, wie etwa Waſſer von einem Gefäße in ein anderes überfließt, ſondern der gleich anfänglich electriſirte Körper verliert einen Theil ſeiner freien E durch Neutraliſation derſelben mittelſt der entgegengeſetzten E des anderen Körpers, und dadurch wird in dieſem eben ſo viel gleichnamige E frei, und es gibt keine Mittheilung der E ohne vorhergegangene Induction. Auch das Feſthalten der E an der Oberfläche der Körper ſcheint in dem durch Induction erzeugten, entgegengeſetzten electriſchen Zuſtande der nächſten Luftſchichte, nicht aber im Drucke der Luft, wie ſonſt einige Phyſiker behaupteten, ſeinen Grund zu haben. Daß dieſe E nicht nothwendig abfließen müſſe, wenn der Luftdruck durch Verdünnen oder gänzliches Wegſchaffen der Luft vermindert oder gar aufgehoben wird, iſt für ſich klar.

332. Die meiſten Vorrichtungen, welche nebſt der Electriſirmaſchine und den Electroſkopen den geſammten electriſchen Apparat ausmachen, beruhen auf der Electriſirung durch Vertheilung. Die wichtigſten derſelben ſind: Die Franklin'ſche Tafel und die Leidnerflaſche, die electriſche Batterie, der Electrophor und der Condenſator.

333. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinn-

plättchen belegt (armirt), ſo, daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflöſung von Siegellack in Weingeiſt überſtreicht, ſo hat man diejenige Vorrichtung, welche Franklin'ſche Tafel genannt wird. Es heiße der Bequemlichkeit der Rede wegen die Belegung auf der einen Seite A, die auf der anderen B, die damit unmittelbar in Berührung ſtehenden Glasſchichten aber a und b. Theilt man der Belegung A eine gewiſſe Electricität, z. B. + E mit, ſo wird dadurch auch, weil die leitende Belegung der Electricität ſich auszubreiten geſtattet, das Glas an allen Punkten, in welchen es mit der Belegung in Berührung ſteht, bis auf eine gewiſſe geringe Tiefe, d. h. es wird die Glasſchichte a electriſirt. Dieſe E zerſetzt die natürliche Electricität (± E), welche in der gegenüber ſtehenden Belegung B enthalten iſt, ſehr leicht, da dieſe Belegung der Bewegung der entgegengeſetzten E kein merkliches Hinderniß in den Weg legt, — E wird angezogen, + E abgeſtoßen. Erſtere, nämlich — E, wird auch dem der Belegung anliegenden Glaſe b bis auf eine geringe Tiefe mitgetheilt, oder was dasſelbe heißt, es wird durch die leitende Belegung die Zerſetzung der natürlichen Electricität der Glasfläche b möglich; letztere, nämlich die zurückgeſtoßene + E, wirkt, ſo lange B iſolirt iſt, durch ihre Verwandtſchaft zur — E dem von der Fläche A ausgehenden, die Zerſetzung anſtrebenden Einfluſſe entgegen; fließt aber, wenn die Fläche B nicht iſolirt iſt, in den Boden ab, wodurch eine reichlichere Aufnahme ſowohl von — E in die Glasſchichte b, als auch in Folge deſſen von + E in die Glasſchichte a möglich wird. Die Tafel heißt in dieſem Zuſtande geladen. Die den Glasflächen a und b beigebrachten entgegengeſetzten E binden ſich gegenſeitig; ihrer Vereinigung ſteht das Glas als Nichtleiter entgegen. Setzt man aber die Belegungen A und B mit einander in leitende Verbindung, ſo erfolgt Vereinigung der + E und — E. Man ſagt dann, die Tafel werde entladen.

Von dem Abfließen der + E aus B beim Laden der Tafel kann man ſich leicht überzeugen, wenn man die Belegung B iſolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da ſieht man, während die andere Fläche A electriſirt wird, Funken übergehen, mit denen man ſogar eine zweite ähnliche Tafel laden kann. Daß bei dieſem Verfahren das Glas wirklich geladen werde, und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die E auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der anderen ſie leicht abzuleiten, lehrt folgender Verſuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire ſie ſtatt mit Zinnfolie mit Metallplatten, und lade ſie. Nimmt man hierauf mittelſt iſolirender Handgriffe die Platten von der Glastafel weg, und berührt ſie mit dem Finger, damit ſie die E verlieren; ſo lehrt die Erfahrung, daß, ſobald man dieſe Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben iſt, dieſelbe geladen erſcheine, und zwar nicht bloß an den beiden äußerſten Flächen, ſondern bis auf eine gewiſſe, wenn auch geringe Tiefe ins Innere des Glaſes hinein. Denn wie könnte es ſonſt kommen, daß eine ſolche Tafel, nachdem man ſie durch einen beide Belegungen leitend verbindenden Körper entladen und ganz ohne E befunden hat, nach einiger Zeit, wenn die Belegungen iſolirt ge-

ſtanden, wieder eine Ladung annimmt. Die eine Belegung, welche mit der E Quelle in Verbindung geſetzt wird, hat bloß den Zweck, dem Glaſe E zuzuführen; ſie würde aber wenig E aufnehmen können, wenn nicht ein guter Theil derſelben von der entgegengeſetzten der anderen Glasfläche gebunden würde. Dieſe entgegengeſetzte würde aber nicht frei werden, wenn nicht jene E, durch welche ſie im natürlichen Zuſtande gebunden war, in den Boden abfließen könnte, und dieſes Abfließen vermittelt die zweite Belegung. Man kann ſtatt Glas mit Vortheil eine dünne Tafel von Glimmer oder von jedem anderen ſchlecht leitenden Körper brauchen.

334. Eine Flaſche, die in- und auswendig mit Metall beſetzt iſt, wie eine Franklin'ſche Tafel, bis auf einen ſchmalen Streifen am oberen Rande, ſtellt eine Leidnerflaſche vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas wird in- und auswendig mit Zinnfolie ſo belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande beiderſeits unbelegt bleibt. Dieſen beſtreicht man, um die Belegungen gut zu iſoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, ſtellt einen Metalldraht ſo hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß herausſteht, und in einen Knopf endet (Fig. 322). Hält man den Knopf der Flaſche an den wohl electriſirten Conductor einer Maſchine, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde ſteht; ſo wird die Flaſche, wie vorhin die Franklin'ſche Tafel, geladen, es erhält die innere Belegung die E des Conductors, z. B. +E, die äußere die entgegengeſetzte (—E), und die Intenſität beider kann ſo weit geſteigert werden, als es der Widerſtand des Glaſes gegen das Beſtreben der beiden E, ſich zu vereinigen, geſtattet. Nach Maßgabe der inneren Ladung einer ſolchen Flaſche geht von der äußeren Belegung E weg, und die Menge derſelben gibt ein gutes Maß für die Menge der der Flaſche zugeführten E, und kann zur Berechnung der Dichte der E benützt werden.

335. Wenn man mehrere Leidnerflaſchen oder Franklin'ſche Tafeln ſo mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication ſtehen, ſo erhält man eine electriſche Batterie (Fig. 323). Es iſt klar, daß dieſe geladen wird, wenn man bloß dem Knopfe einer Flaſche E aus dem Conductor der Maſchine mittheilt, und daß ſie ausgeladen wird, wenn man bloß die innere Belegung einer Flaſche mit ihrer äußeren durch einen guten Leiter in Verbindung ſetzt. Eine Batterie vertritt eigentlich eine große Leidnerflaſche, hat aber vor dieſer den bedeutenden Vorzug, daß man ſie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaſchen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausſchließt, endlich wird durch Beſchädigung einer Flaſche nicht gleich die ganze Batterie unbrauchbar, wie dieſes bei einer großen Flaſche immer der Fall iſt.

Wenn man mehrere Franklin'ſche Tafeln oder Leidnerflaſchen neben einander ſtellt, und die eine Belegung der einen mit der anderen Belegung der zunächſt folgenden in leitende Verbindung ſetzt; ſo wird auch das ganze Syſtem der Tafeln oder Flaſchen geladen werden, wenn man auch nur der einen Belegung der erſteren E mittheilt; allein die Stärke

der Ladung nimmt vom erſten Elemente angefangen ab, und zwar deſto ſchneller, aus je dickerem Glaſe dieſe Elemente gemacht ſind. Eine ſolche Zuſammenſtellung nennt man eine electriſche Säule.

336. Eine geladene Leidnerflaſche erſcheint immer an der Belegung, der man + E mitgetheilt hat, mit poſitiver E, an der entgegengeſetzten mit negativer E, und beide ziehen ſich an, binden ſich zum Theile, können ſich aber wegen der ſchlechten Leitung des Glaſes nicht vereinigen. Doch kann ihre Intenſität durch Laden ſo weit geſteigert werden, daß ſie ſich durch das Glas vereinigen und dasſelbe durchbohren. Je dicker das Glas iſt, deſto ſchwerer kommt es zu einer ſolchen Entladung, und es wird ſelbſt die Spannung der beiden Glasflächen bei einerlei Zuleitung der E deſto kleiner ſeyn, je dicker das Glas iſt. Berührt man den Kopf einer Flaſche mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, die Spannung der Flaſche vermindert ſich, iſt aber noch nicht ganz aufgehoben. Zu letzterem braucht es mehrere, oft eine ſehr große Zahl von derlei Berührungen. So oft man einer Belegung etwas E nimmt, läßt auch die andere einen Theil ihres E fahren. Die Luft bewirkt dieſe Ausladung mit der Zeit, wenn auch langſam, von ſelbſt. Doch hat man auch beſondere Einrichtungen an Flaſchen, um ihre Ausladung durch die Luft zu verzögern (Sperrflaſchen).

337. Ein äußerſt wichtiges Inſtrument iſt der von Wilke erfundene und von Volta verbeſſerte Electrophor (Fig. 324). Dieſer beſteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegoſſen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimenſionen als der Harzkuchen iſt, und welcher mittelſt ſeidener Schnüre iſolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsſchwanze oder mit Katzenfell gerieben, ſo wird er negativ electriſch. In dieſem Zuſtande laſſen ſich folgende Erſcheinungen hervorbringen: 1) Unterſucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, ſo zeigt er oben die E des Kuchens (— E), unten die entgegengeſetzte (+ E). 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, ſo gibt er kein Zeichen der E. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, ſo bemerkt man einen kleinen Funken, und der dann aufgehobene Deckel zeigt + E. 4) Berührt man nach Auflegung des Deckels mit einem Finger die Form, mit dem anderen den Deckel, ſo erhält man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält ſich wie in 3). 5) Richtet man den Electrophor ſo ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; ſo findet man am Kuchen, ſo lange der Deckel aufliegt, unten + E. Die Form zeigt oben — E, unten + E. 6) Alle dieſe Erſcheinungen erfolgen, die Form mag iſolirt ſeyn oder nicht, nur mit dem Unterſchiede, daß die iſolirte Form nach dem Berühren in 4) und nach der Aufhebung des Deckels — E zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die Wirkſamkeit eines Electrophors hängt von der Größe des Kuchens, von ſeiner Härte, Glätte und Dichte, und von der Form und Be-

ſchaffenheit des Deckels ab. Man erhöht ſie durch Vergrößerung, Preſſen, Abſchleifen und Poliren der Harzmaſſe, durch Wahl eines Deckels, der ohne Spitzen und eben iſt, und ſich gut an die Harzfläche anſchließt. Die beſte Harzmaſſe zu einem Electrophor erhält man aus 10 Th. Gummilack, 3 Th. Harz, 2 Th. ven. Terpentin, 2 Th. Wachs und $^1/_2$ Th. Pech. Man kann ſtatt des Harzkuchens auch eine Glastafel nehmen, allein dieſe hält die E nicht lange genug. Weber erſetzte ihn gar durch eine Luftſchichte. Wodurch man ihn aber immer erſetzen mag, ſo bleiben doch die Erſcheinungen dieſelben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der electriſche Körper +E hat, in allen erwähnten Phänomenen auch ſtatt +E, —E und umgekehrt erhält. Man bedient ſich des Electrophors mit Vortheil zu Zündmaſchinen; man kann auch Flaſchen damit laden. Als Reibzeug braucht man am beſten Fuchsſchwänze, Katzen-, Haſen- oder Marderfelle und trockenen warmen Flanell.

338. Alle dieſe Erſcheinungen des Electrophors ſind Folgen der Electriſirung durch Vertheilung. Die —E des Kuchens bewirkt im Deckel eine Zerlegung der ±E, ſie zieht +E an, ſtoßt —E ab; daher die Erſcheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen ſelbſt erzeugt —E der oberen Fläche unten +E. Dieſe zerſetzt wieder ±E der Form, zieht —E an und ſtoßt +E ab; daher die Phänomene 4, 5, 6. (Hummel in Zeitſch. n. F. 2. 213.) Der Kuchen des Electrophors mit ſeinen beiden Belegungen ſtellt eine Franklin'ſche Tafel vor, und kann wie dieſe geladen werden. Theilt man dem Deckel —E mit, ſo erhält auch die obere Fläche des Kuchens —E; entladet man hierauf den Apparat, ſo verliert der Kuchen nicht alle —E, und nun beginnt die eigentliche Wirkung des Electrophors. Hieraus erhellet die Beziehung des Electrophors zur Franklin'ſchen Tafel, und wie man letztere in einen Electrophor umſtalten kann.

339. Der Condenſator, ein im Jahre 1782 von Volta zuerſt bekannt gemachtes Inſtrument, dient ſchwache Electricitäten zu entdecken, die mittelſt eines gewöhnlichen Electroſkops nicht mehr entdeckt werden können. Er beſteht in ſeiner beſten Einrichtung aus zwei eben geſchliffenen runden Metallplatten, wovon die untere auf einem iſolirten Fuße ruht, während die obere mit einem iſolirenden Handgriffe verſehen iſt. Die zwei einander zugewendeten Seiten der Metallplatten ſind mit einer ſehr dünnen Firnißſchichte überzogen. Sehr zweckmäßig iſt es, die Bodenplatte unmittelbar mit einem empfindlichen Electroſkope zu verbinden, wie Fig. 325 zeigt. Man pflegt ihr auch an der Seite ein vorſtehendes, in einen Knopf ſich endigendes Drahtſtück anzuſetzen. Wir wollen in den folgenden Betrachtungen der Kürze wegen die iſolirte Oberplatte A, die mit dem Electroſkope verbundene Unterplatte B nennen.

Statt die Metallplatten an den Berührungsflächen durch eine Firnißſchichte zu trennen, kann man auch dieſelben dadurch iſoliren, daß man die Platten ſich nicht berühren läßt, ſondern auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackſtückchen gibt, und die Oberplatte darauf ſetzt. Hier dient die zwiſchen den Platten befindliche Luftſchichte ſtatt des Firniſſes. Man kann ſtatt metallener Platten auch übergoldete Glasplatten anwenden. Früher nahm man zur Unterplatte des Con-

denſators eine Platte aus einem Halbleiter, meiſtens Marmor, wobei die Firnißſchichte an der Oberplatte zwar entbehrlich war, aber das Inſtrument weit weniger leiſtete, als bei der jetzt allgemein üblichen oben angegebenen Einrichtung.

340. Beim Gebrauche des Condenſators ſtellt man die zwei Platten A und B auf einander, berührt eine derſelben mit dem Finger, während die andere mit jenem Körper in Contact kommt, deſſen E man erſichtlich machen will, und läßt dieſe Berührung einige Secunden dauern, dann hebt man A am iſolirenden Stiel ab, und ſieht zu, ob das mit B verbundene Electroſkop Zeichen von E von ſich gibt. Hat man A mit dem Körper berührt, ſo zeigt das Electroſkop die entgegengeſetzte; hat man B mit dem Körper berührt, ſo zeigt es die gleichnamige Electricität hinſichtlich jener des Körpers an.

341. Die Wirkung des Condenſators wird klar, wenn man ſich denſelben als eine Franklin'ſche Tafel denkt, deren Glasplatte in zwei Theile geſpalten iſt. In der That ſtellt jede der zwei Metallplatten eine Armatur, beide ſich berührende Harzſchichten aber die Glasplatte vor. Bringt man nämlich, während die Platten auf einander ruhen, einen z. B. poſitiv electriſchen Körper M mit der Platte B des Condenſators in Berührung, ſo wird dieſe ſelbſt durch Mittheilung electriſch, nimmt aber, zumal wenn A mit dem Finger berührt wird, von M mehr E auf, als wenn ſie mit A nicht in Berührung ſtände; denn die mitgetheilte + E zerſetzt ± E der Oberplatte, und + E wird abgeſtoßen, — E angezogen. Letzteres — E iſt aber nicht ſo intenſiv als nöthig wäre, um mit dem + E der Platte B den natürlichen Zuſtand zu begründen, oder der Unterſchied in der Intenſität beider E iſt deſto größer, je dicker die Harzſchichte iſt. Es bindet darum — E von A nicht die ganze Menge + E von B, und es beſteht + E der Platte B aus zwei Theilen, einem gebundenen und einem freien. Letzterer iſt, wenn A mit dem Finger berührt wird, in Vergleich mit erſterem ſehr gering, ihm allein hält die E des zu unterſuchenden Körpers M das Gleichgewicht, und es hat darum die Platte B von M weit mehr E aufgenommen als ſie hätte aufnehmen können, wenn die Condenſatorsplatte B allein vorhanden geweſen wäre.

Um ſich den Hergang der Sache deutlich vorzuſtellen, nehme man an, es werde A nicht mit dem Finger berührt, wodurch jede Electricitätsmenge abfließen kann, ſondern nur mit einem iſolirten Leiter, den man, ſo wie er zurückgeſtoßenes + E aufgenommen hat, entfernt, dann entladet, wieder mit A in Contact ſetzt, und ſo fort. So wie nun ein Theil der an die Unterplatte B von M abgegebenen + E gebunden iſt, nimmt dieſelbe von M wieder neue + E auf, dieſe zerſetzt wieder einen Theil der ± E der Platte A, und dadurch wird wieder ein Theil der + E von B gebunden, und ſo geht es fort, bis kein E von M mehr aufgenommen werden kann. Geſetzt, es verhalte ſich die der Platte B von M zuerſt mitgetheilte $+E = P$ zu der von dieſer E gebundenen $-E = Q$ wie $1 : m$, wo $m < 1$ iſt; ſo hat man $mP = -Q$ oder $mP + Q = 0$. Nun bindet aber wieder $-Q$ der Platte A von $+E$ der Platte B die Quantität $= P'$, für welche man wieder hat $P' : Q = m : 1$ oder $P' + mQ = 0$. Daraus wird aber mittelſt der vorhergehenden

Gleichung $P' + m^2 P = 0$. Für ſich und ohne Einwirkung der Platte A hätte B von M die Electricitätsmenge $R = P - P'$ aufgenommen, und es iſt darum $R = P - P' = (1 - m^2) P$ und $\frac{P}{R} = \frac{1}{1 - m^2}$. Die Größe $\frac{P}{R}$ gibt die condenſirende Kraft des Inſtrumentes an. Cavallo's Collector iſt vom Condenſator nicht weſentlich verſchieden.

342. Die dem Condenſator beigebrachte E kann zur Erzeugung neuer E dienen; läßt ſich dieſe mit der früher erzeugten vereinigen, ſo wird erſtere dadurch verſtärkt. Hierauf beruht Bennet's Duplicator, womit Grade der E, die ſelbſt nach der einfachen Condenſation auf das Electroſkop zu wirken unvermögend ſind, bemerklich gemacht werden können. Ohne hier auf die Veränderungen einzugehen, die dieſes Inſtrument durch Nicholſon, Bohnenberger und Andere erhalten hat, wird das Princip der Electricitätsverdopplung, das demſelben zum Grunde liegt, durch folgende Darſtellung klar werden. Es ſeyen B und C zwei gleiche, mit Electroſkopen verſehene, neben einander ſtehende Condenſator-Unterplatten, und A eine darauf paſſende, mit dem iſolirenden Handgriffe verſehene Oberplatte. Man berühre, nachdem man A auf B geſetzt hat, B mit dem Körper, deſſen Electricität, z. B. + E, nachzuweiſen iſt, und zugleich A mit dem Finger, ſo wird in B eine gewiſſe Menge + E durch die in A latent gewordene entſprechende — E gebunden. Man hebe A von B am iſolirenden Griffe hinweg, wodurch die — E in A und + E in B frei werden, und ſetze A auf C, ſo wird die natürliche E in C durch die — E der Platte A zerſetzt, und wenn man jetzt C mit dem Finger berührt, durch wechſelſeitiges Binden die — E in A und eine entſprechende Menge von neu entſtandener + E in C feſtgehalten. Bringt man nun C mit B mittelſt eines an einem iſolirenden Griffe gehaltenen Metallſtückes in leitende Verbindung, ſo geht ein Theil der in B befindlichen freien + E in C über und wirkt auf die E in A zerſetzend, ſo daß, wenn man A mit dem Finger berührt, faſt alle + E aus B in C geführt und gebunden wird, während in A eine entſprechende Menge — E latent wird. Es iſt demnach die Menge der in C gebundenen + E, wie auch jene der in A gebundenen — E faſt doppelt ſo groß als früher. Setzt man jetzt wieder A auf B und wiederholt das angegebene Verfahren, d. h. berührt man B mit dem Finger, ſtellt hierauf eine leitende Verbindung zwiſchen B und C her, und berührt endlich A mit dem Finger, ſo iſt die Menge der gebundenen + E in B, und der gebundenen — E in A wieder größer und nahe das Vierfache der vorigen. So kann man fortfahren und dadurch die gebundene E der Condenſatorplatten nahe auf das 8, 16, 32fache u. ſ. w. ſteigern, wodurch ſich endlich bei dem Abheben von A an dem Electroſkope der Unterplatte Zeichen freier E zu erkennen geben. (Ueber den Collector und Duplicator ſ. Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Fünftes Kapitel.

Berührungselectricität und Volta'ſche Säule.

343. Die Erfahrung lehrt, daß zwei ſich berührende feſte, gute Leiter ſtets electriſch ſind, und daß einer ſolcher zwei Körper poſitiv, der andere negativ electriſch iſt. Man überzeugt ſich davon leicht auf folgende Weiſe: Man nehme eine 1 Z. große, recht glatte Zink- und eine eben ſo große Kupferplatte, befeſtige jede derſelben an einem iſolirenden Handgriffe, faſſe beide Platten bei dieſem, bringe ſie mit einander in Berührung, trenne ſie hierauf und übertrage die E der einen oder der anderen an einen Condenſator. Dieſes Verfahren wiederhole man 5—6mal. Der Condenſator zeigt dann deutlich die E der Platte. Man kann die Platten auch zuſammenlöthen, um dem Einwurfe auszuweichen, daß die E etwa durch Druck oder Reibung erzeugt worden ſey. Dieſer Verſuch heißt der Volta'ſche Fundamentalverſuch, weil ihn Volta zuerſt zur Befeſtigung einer gegen Galvani gerichteten Behauptung angeſtellt hat, und er die Baſis der ganzen Theorie der Berührungselectricität ausmacht. Statt Kupfer und Zink kann man auch andere Metalle wählen, jedoch gibt jedes Körperpaar eine andere Electricitätsmenge, wie in der Folge mehr erörtert werden wird. Der eigentliche Ort der E Erregung iſt die Berührungsſtelle, doch verbreitet ſich bei guten Leitern die frei gewordene E über die ganze Oberfläche der ſich berührenden Körper. Es kann darum die Berührungsſtelle unbeſchadet der zu erregenden E beliebig klein ſeyn, wenn nur die Oberflächen der ſich berührenden Körper einander nahe genug kommen. Volta erhielt an einem Plattenpaare von Silber und Zink, wo die Zinkplatte nur an drei kleinen Spitzen mit dem Silber in Berührung ſtand, aber beide Platten im Uebrigen einander ſo nahe waren, daß kaum Licht durch den Abſtand derſelben ſcheinen konnte, eben ſo ſtarke E, als wenn die ganzen Flächen einander berührten, und dieſe E war viel ſtärker, als jene, welche die Platten gaben, als man ſie unter einem Winkel zuſammenlöthete, wo es daher wohl viele Berührungspunkte gab, aber der Reſt der Metallflächen ſtark von einander abſtand. Wiewohl es nichts weniger als erwieſen iſt, daß dieſe Electricität unmittelbar aus der Berührung entſpringe, ſo wollen wir ſie doch Berührungselectricität nennen, da wohl nicht geläugnet werden kann, daß die Berührung dasjenige ſey, wodurch die eigentliche, hier thätige Elektricitätsquelle zur Wirkſamkeit gelangt. Uebrigens iſt die Berührungselectricität eben ſo vorzugsweiſe geeignet, die Erſcheinungen eines electriſchen Stromes vor Augen zu ſtellen, wie die Reibungselectricität jene der electriſchen Spannung zu gewähren im Stande iſt.

344. Eine Zink- und eine Kupferplatte oder zwei andere ſich berührende Metallplatten, die Berührungsſtelle mag noch ſo klein ſeyn, bilden ein Volta'ſches Element. In einem ſolchen aus Zink oder Kupfer beſtehenden Elemente iſt immer das Zink poſitiv, das Kupfer negativ electriſch. Jede der zwei Electricitäten iſt an der Berührungs-

ſtelle am ſtärkſten, und es ſcheint, als wirkten die zwei Platten durch die in ihnen erregte Electricität condenſirend auf einander (Fechner in Schweigg. J. 55. 223). Verbindet man die beiden Beſtandtheile des Elementes mit einem ſchlechten Leiter, ſo wird am electriſchen Zuſtande derſelben nichts geändert; dasſelbe erfolgt auch, wenn man einen Halbleiter als Verbindungsmittel braucht, aber der Halbleiter nimmt ſelbſt einen beſonderen electriſchen Zuſtand an. Wird z. B. ein mit Zink zuſammengelötheter Kupferſtreifen halbkreisförmig gebogen und von einem Ende des Halbkreiſes zum anderen mit reinem Waſſer durchnäßtes Papier, Asbeſt oder Baumwolle geſpannt, hierauf die Kupferplatte mit der Hand gehalten, und ſowohl die Zinkplatte, als auch verſchiedene Stellen des Halbleiters mittelſt eines Condenſators unterſucht; ſo findet man das Zink eben ſo ſtark poſitiv electriſch, als wäre der Halbleiter gar nicht damit in Verbindung, dieſer ſelbſt hat in der Nähe des Zinkes + E von gleicher Stärke mit dem Zink, in einiger Entfernung davon geringere Electricität, in der Nähe des Kupfers aber gar keine. Eben ſo findet man, wenn man das Zink in der Hand hält, das Kupfer, in Betreff ſeiner negativen Electricität, und im Halbleiter iſt — E eben ſo angeordnet wie vorher + E, ſeine am ſtärkſten electriſche Stelle befindet ſich in der Nähe des Kupfers, in der Nähe des Zinkes hingegen befindet er ſich im natürlichen Zuſtande. Berührt man weder die Zink- noch die Kupferplatte und unterſucht den Halbleiter, ſo findet man ihn in der Nähe der Zinkplatte poſitiv, in der Nähe der Kupferplatte negativ electriſch.

345. Mehrere Volta'ſche Elemente in derſelben Ordnung und ſo zuſammengeſtellt, daß immer eines vom nächſtfolgenden durch eine nichtmetalliſche, gut leitende Flüſſigkeit (L) getrennt iſt, machen eine Volta'ſche Säule oder Batterie. Die Art der Zuſammenſetzung der einzelnen Elemente iſt ſehr verſchieden, je nachdem die Anzahl derſelben groß oder klein, und die Ausdehnung jedes einzelnen bedeutend oder gering iſt, oder je nachdem man viele Elemente in einen kleinen Raum zuſammenzudrängen und mit wenig Flüſſigkeit auszureichen oder eine raſche, wenn auch nur kurz dauernde, oder eine anhaltende Electricitätsentwicklung beabſichtiget.

Wenige (höchſtens 50) und nicht gar große Platten ſtellt man am liebſten in der Ordnung KZLKZL ꝛc. in Form einer verticalen Säule (Fig. 326) zwiſchen Glasſtäben zuſammen, ſo daß, wenn die unterſte Platte Kupfer iſt, die oberſte aus Zink beſteht oder umgekehrt. Oft iſt jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zuſammengelöthet, letztere etwas größer als erſtere, und der vorſtehende Theil zu einer Art Schale aufgebogen. Der feuchte Leiter beſteht da gewöhnlich aus einer wäſſerigen Löſung von Kochſalz oder Salmiak, oder auch aus einer ſchwachen Säure, mit denen man Tuch- oder Pappſcheiben tränkt. Will man mehr Platten zuſammenſtellen, ſo bildet man von ihnen mehrere ſolche Säulen, ſtellt ſie neben einander und verbindet das Kupferende der einen mit dem Zinkende der anderen mittelſt guter Leiter. Um das Reinigen der Platten zu erleichtern, welches immer vorgenommen werden muß, wenn der Apparat einige Zeit im Gange war, und auch um größere Platten anwenden zu können, braucht man die ſogenannten Becher-

und Trogapparate. Ein Becherapparat (Fig. 327) beſteht aus einer Anzahl gläſerner Gefäße, welche den flüſſigen Leiter enthalten, und aus eben ſo vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelſt eines Metallſtreifens verbunden iſt; dieſe werden in die Gefäße ſo eingehängt, daß in jedes derſelben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu ſtehen kommt. Graf Stadion nahm ſtatt der Zinkplatte eine bloße Zinkſtange, und ſtatt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkſtange war mittelſt eines Bogens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 328.) Berzelius empfiehlt als den einfachſten Volta'ſchen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet iſt, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breitgeſchlagen wird, und ſogleich ſtatt der Kupferplatte dient. Man kann ſtatt gläſerner Gefäße auch ſchmale kupferne anwenden, ſie in eine Reihe neben einander ſtellen und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächſtfolgenden Gefäße verbinden. Am zweckmäßigſten iſt es, ſowohl jede Zink- als jede Kupferplatte zu einem Cylinder zuſammen zu rollen. Ein Trogapparat (Fig. 329) hat folgende Einrichtung: Er beſteht aus einem Kaſten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren jede meiſtens aus zwei zuſammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, ſogenannten Doppelplatten, beſteht, und die ſo angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferſeite der Zinkſeite der folgenden zuwendet, wodurch ſchon erreicht wird, daß, wenn die erſte mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüſſige Leiter gegoſſen. Man meinte ſonſt, die einzelnen Zellen dürfen nicht unter einander communiciren, und machte, um dieſes deſto leichter zu erreichen, Tröge von Porcellan oder anderem Töpferzeuge, die ſchon in Zellen eingetheilt waren; die zwei Platten eines Elementes wurden nicht zuſammengelöthet, ſondern mittelſt eines beiderſeits angelötheten Metallſtreifens verbunden, damit ſie in zwei benachbarte Zellen des Troges geſtellt werden könnten. Faraday empfiehlt aber, den Trogapparat nicht in einzelne Zellen abzutheilen, ſondern alle Elemente des Apparates in den ununterbrochen mit Flüſſigkeit gefüllten Trog zu tauchen Die Platten eines Elementes löthet man zuſammen und trennt das Kupfer vom Zink des folgenden Elementes durch Kork oder Glas, und da eine Zinkplatte gewöhnlich zwiſchen zwei Kupferplatten ſteht, oder vielmehr jede Kupferplatte doppelt ſo groß genommen wird als eine Zinkplatte, und um dieſe herumgebogen wird, eine Kupferplatte von der anderen durch dickes Papier. Die Zinkplatten werden amalgamirt. Um alle Elemente dieſes oder des vorher erwähnten Apparates zugleich in die Zellen einſenken und wieder herausheben zu können, ſind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiſte befeſtigt (Fig. 330). Will man einzelne, beſonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüſſigkeit ausreichen; ſo wird zwiſchen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze ſpiralförmig zuſammengewunden, jedoch ohne daß ſich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann die Zinkplatten auch in offene Hülſen von Kupfer ſo ſtellen, daß ſie ſich nirgends berühren und durch gefirnißte Holzſtäbe von einander gehalten werden. Mit 250 ſolchen Paaren, wo die Zinkplatte 7 Zoll lang und 5 Zoll breit war, hat Hare eine Säule gebaut, die er Deflagrator nannte. Um Säulen von langer und faſt unverändert anhaltender Wirkſamkeit zu erhalten, theilt man nach Daniell den für die Flüſſigkeit beſtimmten Raum durch eine Membrane in zwei Abtheilungen, ſo daß jedes der zwei Metalle eines Elementes ſich in einer beſonderen Zelle befindet,

und wendet dann für jedes Metall eine eigene Flüſſigkeit an, und zwar eine ſolche, die der Eigenthümlichkeit des Metalles entſpricht. Für Kupfer eignet ſich beſonders eine concentrirte Kupfervitriollöſung, für Zink eine Löſung von Kochſalz oder Salmiak. Man thut gut, jede Zinkplatte zu amalgamiren. (Gilb. Ann. 6. 346 und 468; 7. 114; 9. 353; 28. 130; 30. 331; 46. 233; 55. 471; 54. 9. Pogg. Ann. 36. 505; 42. 263 und 282; 43. 328.)

346. Bei einer Volta'ſchen Säule zeigt ſich jede Kupferplatte negativ, jede Zinkplatte poſitiv electriſch. Die äußerſten Platten heißen die Pole der Säule, und zwar einer derſelben Zink- oder poſitiver, der andere Kupfer- oder negativer Pol. Werden beide Pole durch einen leitenden Körper, dem ſogenannten Polardraht verbunden, ſo tritt der electriſche Strom ein, und dieſer geht durch den Leiter und durch die Säule, und kehrt daher immer in ſich zurück; daher man auch eine geſchloſſene Säule eine electriſche Kette nennt. Die Stärke einer Volta'ſchen Säule hängt ab von der Reinheit der ſich berührenden Flächen, von der Natur und Leitungsfähigkeit des flüſſigen Leiters, von der Anzahl und Größe der Platten, mitunter auch von der Art ihrer Zuſammenſtellung.

347. Bei der Volta'ſchen Säule iſt der Zwiſchenkörper ſtets ein flüſſiger Leiter; man kann aber auch aus lauter feſten Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmteſten Säulen dieſer Art ſind die von Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie beſtehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierſeite mit Manganoryd eingerieben iſt. Bringt man einige Tauſend ſolcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläſerne Röhre, verſieht ſie oben mit einem leitenden Knopfe und ſtellt zwei ſolche Röhren nahe an einander, ſo daß in einer die Goldſeite, in der anderen die Silberſeite des Papieres aufwärts gekehrt iſt; ſo kann ein zwiſchen ſie geſtelltes, zartes, iſolirtes Pendel abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen werden, mit einer Kraft, die man ſo weit verſtärken kann, daß ſie ein Uhrwerk in Bewegung ſetzt. Fig. 331 ſtellt dieſe Säulen vor. Die Wirkſamkeit einer ſolchen Säule iſt aber keineswegs von der Art, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung ertheilt werden könnte, ſondern ſie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächſt, wird ſtärker, wenn die Temperatur ſteigt, und zwar faſt im geraden Verhältniſſe mit der Temperaturveränderung, wenn dieſelbe langſam eintritt (Zeitſchr. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papieres wird ihre Kraft geſteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt ſich ſelbſt eine Säule aus möglichſt getrocknetem Papiere noch wirkſam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und ſie in einen Trog ſo einſetzt, daß alle polirten Flächen nach derſelben Seite hinſehen und zwiſchen je zwei Platten eine etwa $^1/_1$ Linie dicke Luftſchichte bleibt. Hier vertreten die zwei verſchiedenen Flächen

die zwei Metalle, und die zwiſchen zwei Metallplatten befindliche (feuchte) Luftſchichte das Papier.

Trockene Säulen hat *Behrens* aus Flintenſteinen, die einerſeits mit Zink, andererſeits mit Kupfer überzogen waren; *Deluc* aus Goldpapier und verzinntem Eiſenbleche; *Biot* aus Zink, Kupfer und Salpeterſcheiben; *Jäger* aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide; *Ritter* aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder; *Kämtz* aus vielen organiſchen Stoffen, wie z. B. aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep ꝛc. conſtruirt. (Schweigg. J. 56. 1.) *Bohnenberger* hat zwei kleine, *Zamboniſche* Säulen, zwiſchen welchen ein Goldplättchen hängt, als Electroſkop empfohlen. (Tübinger Blätter 1. 380 oder Schweigg. J. 25. 159.) Wirklich zeigt ein ſolches Inſtrument nicht nur die kleinſten Spuren der E, ſondern auch zugleich ihre Beſchaffenheit. Man kann aber auch eine einzige Säule zu dieſem Zwecke brauchen, wie *Becquerel* zuerſt gethan hat. (Zeitſchr. n. F. 1. 188.)

348. Auch mittelſt eines feſten und eines flüſſigen Körpers, ja ſogar durch zwei tropfbare Flüſſigkeiten kann Electricität erregt werden. Erſteres geſchieht in *Zamboni's zweielementiger Säule*. Dieſe erhält man, wenn man mehrere Zinnplättchen ſo ſchneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, ſie in mit Waſſer gefüllte Uhrgläſer ſo ſtellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander ſtehenden Gläſern gleichſam reitet, und immer in ein Glas von einem ſolchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil, zu ſtehen kommt. Da bemerkt man an dem äußerſten Plättchen eine electriſche Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinnes hat in der Regel — E, das andere + E. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn ſich die electriſche Spannung verloren hat, welches meiſtens nach ein Paar Tagen geſchieht, ſo kann man ſie durch Zuſatz von etwas Kochſalz wieder erwecken. *Becquerel* hat eine 2—3 Linien weite Glasröhre unten mittelſt feinem Thone verſtopft, der mit einer ſtarken Aetzkalilauge befeuchtet war, die Röhre mit Flüſſigkeit angefüllt und ſie in eine Flaſche mit ſtarker Salpeterſäure geſtellt. Als er Säure und Alkali mit einander durch Platin verband, erhielt er deutliche Anzeigen vom Daſeyn eines electriſchen Stromes (Pogg. 37. 429).

349. An einer thätigen, iſolirten *Volta'ſchen* Säule zeigt, wie geſagt, der Zinkpol mittelſt eines Electroſkops + E, der Kupferpol — E und beide Electricitäten erſcheinen gleich ſtark. Deßhalb heißt auch jener der *poſitive*, dieſer der *negative* Pol der Säule. Eben ſo zeigt jede andere Zinkplatte der Säule wenigſtens mittelſt des Condenſators + E, jede Kupferplatte — E; die Intenſität der E nimmt mit der Entfernung der Platten von jenem Pole, der mit ihr gleichnamige E hat, in einer arithmetiſchen Reihe ab. Iſt ein Pol der Säule mit der Erde in leitender Verbindung, ſo ſteigt die Spannung des anderen auf das Doppelte, und dann zeigt die Säule nur die Electricität des letzteren Poles. Das Maximum der Spannung tritt aber nicht immer augenblicklich, nachdem die Pole mit dem betreffenden Elemente verbunden worden, ſondern oft erſt nach einiger Zeit ein,

deren Dauer mit dem feuchten Leiter der Säule zuſammenhängt. Merkwürdig iſt es, daß die Spannung des einen Poles einer Säule, deſſen zweiter mit der Erde leitend verbunden iſt, von gleicher Größe befunden wird, der flüſſige Leiter mag wie immer beſchaffen ſeyn. Sind aber beide Pole iſolirt, ſo hängt die E derſelben vom flüſſigen Leiter ab. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflaſche von beliebiger Größe mit einem Pole, und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; ſo wird dieſelbe ſchnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen iſt. Van Marum lud auf dieſe Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er ſonſt mehrere Umdrehungen ſeiner Rieſenmaſchine gebraucht hätte. Eine trockene Säule verhält ſich wie eine naſſe, jedoch iſt ihre Spannung kleiner als die einer naſſen von gleicher Anzahl Platten. Man kann auch mit einer ſolchen Säule eine Leidnerflaſche oder eine Batterie laden, aber die Ladung erfolgt nicht augenblicklich, ſondern man braucht dazu eine merkliche Zeit. Werden die Pole einer thätigen Volta'ſchen Säule hinter einander durch verſchiedene Körper verbunden und jedesmal die Spannung an den Polen unterſucht, ſo gelangt man zu ſehr intereſſanten Phänomenen: Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf, und ſind demnach im Stande, ihre E vollkommen abzuleiten. Man nennt ſie darum auch vollkommene Leiter, andere ſchwächen die Spannung gar nicht, und können darum, in Bezug auf die vorhandene Electricität, als Nichtleiter angeſehen werden. Von der Art iſt Glas, Seide, Harz ꝛc. Es gibt Körper, die im ſtarren Zuſtande Nichtleiter, im tropfbaren hingegen Leiter ſind, wie z. B. Waſſer, Bleioxyd, Kali, Kaliumchlorid, Schwefelantimon, Borax. Bei Queckſilberjodid findet aber das Gegentheil Statt. Wieder andere ſchwächen die beiden Pole der Säule nur, ohne ſie ganz aufzuheben, theilen ſich aber ſelbſt in zwei, mit electriſcher Spannung begabte Hälften, und zwar erhält die mit dem + Pol verbundene Hälfte + E, die mit dem — Pol verbundene — E. Solche Körper behalten dieſen ihren electriſchen Zuſtand noch lange Zeit, wenn ſie auch ſchon von der Säule getrennt worden ſind. Man nennt ſie zweipolige unvollkommene Leiter. Von der Art iſt naſſes Papier, eine Säule aus immer abwechſelnden Lagen von Metallplatten und feuchten Leitern. Eine ſolche Säule nennt man Ladungsſäule oder ſecundäre Säule, wohl auch Ritter'ſche Säule. (Gilb. Ann. 19. 488.) Einer ſolchen Säule ähnlich iſt ein etwa eine halbe Linie dicker Silberdraht, deſſen beide Enden man abwechſelnd, eines mit dem poſitiven, das andere mit dem negativen Pole einer ſtarken Säule in Verbindung gebracht und dieſes etwa eine Stunde lang fortgeſetzt hat. Da erſcheint mittelſt eines guten Condenſators jedes Drahtende mit einer electriſchen Spannung, und zwar das eine mit poſitiver, das andere mit negativer E. (Zeitſchr. 9. 241. Pogg. Ann. 44. 44.) Endlich gibt es auch Körper, welche, als

Polardraht gebraucht, nur die E eines Poles ableiten, die des anderen aber unverändert laſſen. Man nennt ſie einpolige Leiter, und zwar poſitiv oder negativ einpolige, je nachdem ſie die E des poſitiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur erſteren Claſſe gehört die Flamme des Alkohols, des Wachſes, Oehles, des Waſſerſtoffgaſes; zur letzteren die trockene Seife, Bleiweiß, Phosphorflamme. Uebrigens bedarf dieſer Gegenſtand noch einer weiteren Unterſuchung, weil er vielleicht mit materiellen Veränderungen des Leiters in Verbindung ſteht. Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.)

Sechstes Kapitel.

Electricität in Bewegung (Electrodynamik).

350. Wenn die in einem Körper angeſammelte E nicht durch ſchlechte Leiter zurückgehalten wird, ſo fließt ſie ab und der Körper kehrt in den natürlichen Zuſtand zurück, falls er nicht in ſich ſelbſt die Quelle eines fortwährenden Electriſchwerdens hat. Man ſtellt ſich vor, dieſe Fortpflanzung gehe ſo vor ſich, daß das erſte Element des guten Leiters, durch welchen ſie erfolgt, durch Vertheilung electriſirt werde, und an die E, welche die Vertheilung bewirket, ihre entgegengeſetzte E abgebe. Dadurch wird die ihr gleichnamige E frei und wirkt eben ſo auf die $\pm$ E des folgenden Elementes des Leiters, wie auf das erſte Element gewirkt wurde. Auf dieſe Weiſe iſt das Abfließen der E eines Körpers das Reſultat einer immer weiter fortſchreitenden Zerſetzung und Zuſammenſetzung der $\pm$ E, mithin der Fortpflanzung einer Bewegung, wobei das Bewegte die Lage ſeines Gleichgewichtes nur ſehr wenig verläßt, und dieſes Fortſchreiten macht den electriſchen Strom. Oft pflanzen ſich zwei entgegengeſetzte E in entgegengeſetzten Richtungen durch einen Körper fort, in welchem Falle die Phänomene des Stromes beſonders auffallend ſind. Wenn von der Richtung des electriſchen Stromes die Rede iſt, ſo meint man immer jenen der poſitiven Electricität.

351. Es iſt bekannt, daß man in einem Körper, der beide E zugleich enthält, den electriſchen Strom erregt, indem man die mit entgegengeſetzten E verſehenen Stellen durch einen guten Leiter verbindet. In einer geladenen Leidnerflaſche wird der electriſche Strom eingeleitet, indem man den Knopf der Flaſche mit der äußeren Belegung in leitende Verbindung ſetzt; bei einer Electriſirmaſchine mit iſolirten Reibzeugen, wenn man dieſelben mit dem Conductor, und in einer Volta'ſchen Säule, indem man die beiden Pole mit einander leitend verbindet. Eine ſolche geſchloſſene Säule hat nun eigentlich keine Pole mehr, und der Strom geht ſowohl durch die Säule als durch den Polardraht. Bei einer Leidnerflaſche bedient man ſich zur Führung des Stromes des ſogenannten Ausladers. Dieſer beſteht aus Drähten, welche an einem Ende mit leitenden Kugeln verſehen, am

anderen um eine Charnier beweglich ſind, und mittelſt eines gläſernen Handgriffes gefaßt werden können. Vorzüglich bequem iſt Henley's allgemeiner Auslader, an welchem die zwei mit den Belegungen der Flaſche zu verbindenden Metalldrähte ſo eingerichtet ſind, daß man den Strom durch einen beliebigen Körper leiten kann. Fig. 332 ſtellt ihn vor. Man kann einen electriſchen Strom auf mehreren Wegen fortzuleiten ſuchen. Kann er mehrere Wege zugleich einſchlagen, welches z. B. geſchieht, wenn man gleichzeitig mehrere Polardrähte oder mehrere Auslader anwendet; ſo vertheilt er ſich unter alle dieſe nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Sind ſie alle gleich gute Leiter, ſo vertheilt ſich der Strom in alle gleich; iſt ihre Leitungsfähigkeit ungleich, ſo geht durch den beſſeren Leiter ein ſtärkerer Strom als durch den ſchlechteren. Da, wie die Folge zeigen wird, ein längerer Leiter eben dadurch ſchon ſchlechter leitet als ein kürzerer, ſo wird bei ungleich langen Leitern von ſonſt gleicher Beſchaffenheit doch durch den kürzeren ein ſtärkerer Strom gehen. Die Electricität kann ſich auch durch den leeren Raum fortpflanzen, indem dieſer, ſeiner Natur nach, kein poſitives Hinderniß abgeben kann. Zu Verſuchen hierüber liefert jedes gute Barometer die nöthige Vorrichtung.

352. Ob ſich ein electriſcher Strom momentan oder nur mit ſehr großer Geſchwindigkeit fortpflanze, war lange unbekannt; bei den im Jahre 1747 von Watſon angeſtellten Verſuchen konnte man an einem 4 engl. Meilen langen Bogen keine Spur einer ſucceſſiven Fortpflanzung der Electricität wahrnehmen; aber neueſtens hat Wheatſtone durch ein ſehr ſinnreiches Verfahren nicht bloß die ſucceſſive Fortpflanzung, ſondern auch die Größe der Geſchwindigkeit der Electricität wenigſtens für den Fall ermittelt, wenn die E einer geladenen Leidnerflaſche durch einen Kupferdraht geht, und gefunden, daß dieſelbe in 1 Sec. 58600 Meilen zurücklege.

Das Verfahren, wodurch Wheatſtone dieſes Reſultat erhalten hat, iſt ſo ſinnreich, und verſpricht noch für die Folge ſo reichliche Früchte, daß eine nähere Erörterung desſelben hier unerläßlich iſt: Man denke ſich einen um eine horizontale Axe beweglichen Planſpiegel, deſſen ſpiegelnde Ebene in der Drehungsaxe liegt, und ertheile demſelben eine drehende Bewegung. Sieht man in ihm das Bild eines leuchtenden Punktes, ſo wird dieſes in einer auf die Drehungsaxe ſenkrechten Richtung von einem Ende der Spiegelfläche zum anderen fortrücken, und zwar mit einer Winkelgeſchwindigkeit, welche doppelt ſo groß iſt, als jene des Spiegels; auch wird man, wenn der Spiegel zu einer halben Drehung nicht mehr Zeit braucht als die Dauer des Lichteindruckes, von jenem Punkte im Spiegel eine auf die Rotationsaxe ſenkrechte Lichtlinie zu ſehen glauben. Bewegt ſich der leuchtende Punkt ſelbſt parallel mit der Rotationsaxe, und ſteht ſeine Geſchwindigkeit zu jener der Rotation in einem merklichen Verhältniſſe; ſo wird die geſehene Lichtlinie nicht mehr ſenkrecht auf der Axe ſtehen, ſondern ſchief gegen dieſelbe. Beträgt die Abweichung von der auf der Axe ſenkrechten Richtung m^o, ſo legt der Spiegel in derſelben Zeit $\frac{m^o}{2}$ zurück, und wenn bekannt iſt, daß dieſer in 1 Sec. a Umläufe macht, mithin 360 a^o beſchreibt, ſo wird man ſchließen können, die Bewegung des leuchten-

den Punktes entſpreche einer Zeit von $\frac{\frac{1}{2} m}{360 a} = \frac{m}{720 a}$ Secunden. Der Verſuch, um den es ſich eigentlich handelt, wurde nun von Wheatſtone auf folgende Weiſe angeſtellt: Vor dem um eine horizontale Axe rotirenden Planſpiegel wurden in einem $^1/_{15}$ Z. dicken Kupferdrahte 20 Lagen, jede zu 120 F., ſo mit einander verbunden, daß, wenn man die E einer geladenen Leidnerflaſche durch ſie leitete, an den beiden Enden und in der Mitte ein Funke erſcheinen konnte, und die Anordnung getroffen, daß dieſe drei Funken in eine mit der Axe des Spiegels parallele Richtung fielen. Als nun der Spiegel ſo ſchnell gedreht wurde, daß er in 1 Sec. 800 Umdrehungen machte, hatte das Bild jener Funken in demſelben das Anſehen dreier parallelen Linien (—═), wovon die mittlere hinter den äußeren zurückblieb, wenn die Rotation rechts; hingegen das Anſehen dreier eben ſolcher (═—), wovon aber die mittlere den übrigen vorausging, wenn die Drehung links erfolgte, und zwar ſtand die mittlere Linie gegen die äußeren im erſteren Falle um $^1/_2$° zurück, im letzteren um eben ſo viel vor. Daraus iſt nun zu ſchließen, daß die zwei an den äußerſten Drahtenden auftretenden Funken zugleich, der in der Mitte erſcheinende hingegen ſpäter entſtanden ſey, und daß die E, um von einem Drahtende bis zur Mitte zu kommen, ſo viel Zeit gebraucht habe, als der Spiegel zur Beſchreibung eines Bogens von $^1/_4$° benöthigte, d. h. $\frac{\frac{1}{2}}{720.800} =$ 0·000000868 Sec. Aus dieſer Zahl ergibt ſich die oben angeſetzte Geſchwindigkeit der E von ſelbſt.

353. Man muß bei der ſtrömenden E **Quantität** und **Intenſität** unterſcheiden. Erſtere bezeichnet, wie ſchon der Name ſagt, bloß die Menge der in einer gegebenen Zeit durch einen Querſchnitt des durchſtrömten Körpers fließende Electricität, letztere aber die Dichte derſelben, mithin das Verhältniß ihrer Menge zur Größe des durchſtrömten Kanalquerſchnittes. Es gibt Phänomene, die hauptſächlich von der Quantität, und wieder andere, die vorzugsweiſe von der Intenſität der ſtrömenden Electricität abhängen. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß die Intenſität nicht bloß durch Veränderung der Quantität und des Querſchnittes des durchſtrömten Kanals, ſondern auch durch die der Electricität auf ihrem Wege zugeſtoßenen Bewegungshinderniſſe verändert werden könne.

354. Es gibt electriſche Ströme, die ſo zu ſagen nur momentan ſind, oder doch nur eine ſehr kurze Zeit anhalten, und wieder andere, welche eine geraume Zeit hindurch mit unveränderter Stärke fortdauern. So z. B. iſt der Strom, welchen eine Leidnerflaſche liefert, nur kurz dauernd, und zwar deſto länger, je beſſer der Ausladungsdraht leitet, kann aber, wiewohl mit ſtets abnehmender Stärke, durch mehrere auf einander folgende Verbindungen der zwei Belegungen wiederholt auftreten. An einer Electriſirmaſchine, deren Reibzeug mit dem Conductor leitend verbunden iſt, und die fleißig in Thätigkeit erhaten wird, iſt der Strom fortdauernd. Am continuirlichſten erſcheint er aber an einer geſchloſſenen Volta'ſchen Säule, weil dieſe ſich faſt augenblicklich wieder ladet, und das erſetzt, was ſie durch den Polar-

draht verloren hat. In einer ſolchen liefert jedes Element ſeinen beſonderen Strom nach derſelben Richtung, für den Strom jedes Elementes geben alle übrigen Elemente den Schließungsdraht ab, und der geſammte Strom iſt gleichſam die Summe der Ströme aller einzelnen Elemente. Wenn der Schließungsdraht gut genug leitet, ſo bemerkt man an ihm, ſobald die Kette geſchloſſen iſt, keine Spur einer Wirkung auf das Electroſkop. Nur wenn der Draht nicht alle E abzuleiten vermag, bleibt ein Theil ihrer Spannung zurück, und gibt ſich durch das Electroſkop, wenigſtens mittelſt eines Condenſators, zu erkennen. Eine trockene Säule erlangt die durch einen Polardraht abgeleitete E nicht ſo ſchnell wieder, ſondern ſie braucht dazu einige Zeit, daher iſt auch der Strom durch einen Polardraht, der bleibend die beiden Pole einer ſolchen verbindet, nicht ſo ununterbrochen, wie bei der naſſen Volta'ſchen Säule. Letztere gibt daher unter günſtigen Umſtänden allein einen völlig ununterbrochenen Strom. Uebrigens bleibt ein ſolcher electriſcher Strom unverändert, wenn er auch durch einen Raum geht, welcher zugleich von anderen Strömen nach beliebigen Richtungen durchgangen wird. (Zeitſch. 7. 337, 351.)

355. In einer Volta'ſchen Säule geht der electriſche Strom ſowohl durch die Elemente der Säule als durch den Polardraht, und die etwa denſelben unterbrechende Flüſſigkeit. In jedem Theile dieſes ſeines Weges erfährt er einen Widerſtand, ja zu Folge beſtimmter Erfahrungen gibt es ſogar einen beſonderen Widerſtand beim Uebergange des Stromes von einem feſten Körper in eine Flüſſigkeit. Es ſey P die Electricität erregende (electromotoriſche) Kraft eines Volta'ſchen Elementes, n die Anzahl ſolcher Elemente einer Säule, mithin nP ein Ausdruck, welcher der in einer Zeiteinheit erregten E proportionirt iſt. Heißt nun der Leitungswiderſtand in einem Elemente der Säule p, im Polardrahte q, in der ihn unterbrechenden Flüſſigkeit f, und der Widerſtand des Ueberganges u, ſo iſt die Kraft der ganzen Säule

$$= \frac{nP}{np + q + f + u},$$

oder wenn der Polardraht ununterbrochen von einem Pole zum anderen reicht $\frac{nP}{np+q}$. Offenbar iſt dieſer Ausdruck kleiner als $n.\frac{P}{p+q}$, d. h. kleiner als die Summe der Kräfte von n nicht zu einer Säule verbundenen Elemente. Vergrößert man jedes einzelne Element, ſo wird P größer, ohne daß n, q und p eine Aenderung erleiden, und die Säule liefert offenbar in demſelben Verhältniſſe mehr Electricität. Vermehrt man aber die Anzahl der Elemente, d. h. vergrößert man n, ſo wird der vorhergehende Ausdruck nur dann in demſelben Maße größer, wenn np gegen q verſchwindet, denn da geht er in $\frac{nP}{q}$ über. Bei der Volta'ſchen Säule iſt dieſes nicht der Fall, vielmehr verſchwindet meiſtens q gegen np, und es iſt

$$\frac{P}{np+p}=\frac{nP}{np}=\frac{P}{p},$$

d. h. die entwickelte Electricitätsmenge iſt von der Anzahl der Elemente unabhängig. Daher die Behauptung, die Größe der Elemente beſtimme die Quantität, ihre Anzahl die Intenſität des Stromes.

356. Der electriſche Strom bringt in Körpern, durch die er geht, ſehr merkwürdige Wirkungen hervor; nämlich Erſchütterungen und Sinnesaffectionen an empfindenden Weſen, Licht- und Wärmephänomene, mechaniſche Veränderungen, chemiſche Zerſetzungen und Magnetiſirung. Ueberdieß wirkt er auch theils mittelbar (magnetiſirend), theils unmittelbar (electriſirend) in die Ferne. Jede dieſer Wirkungen muß nun beſonders erörtert werden.

357. Wenn man einen hinreichend ſtark electriſchen Körper mit den Fingern oder mit einem andern Theile des Körpers berührt; ſo empfindet man, beſonders in den Gelenken, durch welche der electriſche Strom geht, einen Stoß, der die Folge der fortſchreitenden Zerſetzung und Zuſammenſetzung der natürlichen E in den Organen des Körpers zu ſeyn ſcheint. Vorzüglich empfindlich wird dieſer Stoß, wenn beide E in entgegengeſetzten Richtungen ihren Weg durch den Körper nehmen. Dieſes iſt der Fall, wenn man z. B. mit einer Hand den Conductor einer ſtarken Electriſirmaſchine, mit der anderen die Reibzeuge berührt, beſonders aber, wenn man zugleich mit den beiden Belegungen einer geladenen Leidnerflaſche oder mit den beiden Polen einer Volta'ſchen Säule in leitende Verbindung tritt. Die Erſchütterung durch die Entladung einer Leidnerflaſche von einiger Größe hat faſt in dem Augenblicke Statt, wo die Entladung erfolgt, iſt aber auch faſt nur momentan, wie der electriſche Strom. Sie kann durch eine große Anzahl Perſonen, die ſich mit den Händen faſſen und einen zuſammenhängenden Leiter bilden, geführt werden. Der durch eine große Flaſche oder gar durch eine Batterie erzeugte Stoß kann eine Lähmung, Blutſpeien und andere Uebel hervorbringen; man kann dadurch ſogar Thiere tödten. Eine große Flaſche mit geringer Ladung kann einen eben ſo wirkſamen Stoß ertheilen, wie eine kleine, ſtark geladene; doch will man in der Natur dieſer Stöße einen Unterſchied bemerkt haben. Eine Volta'ſche Säule gewährt in Betreff der Erſchütterung, die ihre Entladung erzeugt, beſondere Phänomene, weil ſie einen anhaltenden electriſchen Strom liefert. Berührt man mit den Fingern, die durch eine Salzauflöſung leitend gemacht worden ſind, die beiden Pole der Säule und ſchließt die Kette durch den Körper; ſo empfindet man einen Schlag, wie aus einer Leidnerflaſche, der aber, wenn die Säule ſtark und der flüſſige Leiter leitend genug iſt, durch längere Zeit mit kleinen Unterbrechungen anhält. Beim Oeffnen der Kette tritt ein ähnlicher Stoß ein. Die Stärke dieſer Schläge hängt von der Richtung des Stromes gegen den Verlauf der durch ihn afficirten Nerven und von der Drahtlänge ab. Geht er

dem Verlaufe des Nerves nach, ſo haben beide Erſchütterungen, die beim Schließen und die beim Oeffnen der Kette erregte, einerlei Stärke, hat er aber eine entgegengeſetzte Richtung, ſo iſt die letztere ſchwächer als die erſtere, doch iſt der Unterſchied nicht für alle Individuen gleich groß (Zeitſch. 8. 90). Der Schlag einer Volta'ſchen Säule kann durch mehrere Perſonen, die ſich mit feuchten Händen faſſen, geleitet werden; an wunden Stellen iſt die Affection beſonders ſchmerzhaft. Wenn die Säule ſehr ſtark iſt, ſo wirkt ſie ſchon auf die Finger, wie ein heißer Körper. Dieſe Schläge ſind bei derſelben Säule ſtärker, wenn man zuerſt ein Stück Metall anfaßt und mit dieſem die Pole berührt, wahrſcheinlich, weil da auch die Berührungsfläche größer iſt. Uebrigens richtet ſich die Stärke der Stöße vorzüglich nach der Anzahl der Plattenpaare, aus denen die Säule beſteht, mithin nach der Intenſität des Stromes, und wächſt mit dieſer. Bei einer Säule von 10 — 20 Platten bekommt man ſchon einen geringen Schlag; großplattige Apparate wirken hierin faſt wie die mit kleinen Platten, denn die größte, bekannte Säule, welche Children erbaute, und die aus 20 Doppelplatten von 6 F. Länge und $2^{2}/_{3}$ F. Breite beſtand, äußerte auf den menſchlichen Körper keine größere Wirkung, als eine Säule von eben ſo vielen, kleinen Platten. Eine Säule von 10 Elementen, mit Platten, deren jede 4 Q. Fuß hatte, wie ſie das hieſige Muſeum beſaß, gab gar keinen wahrnehmbaren Schlag. Eine Zamboniſche Säule gibt nie einen bemerkbaren Stoß.

358. Der electriſche Strom erzeugt in einem thieriſchen Körper eine Contraction und Expanſion der Muskelfaſern, durch welche höchſt wahrſcheinlich erſt die eigenthümliche Empfindung, welche den electriſchen Stoß begleitet, hervorgebracht wird. Von dieſer Wirkung überzeugt man ſich am leichteſten mittelſt der Hinterſchenkel eines jüngſt getödteten Froſches, von denen man die Haut abgezogen hat. Leitet man durch dieſe Schenkel einen elect. Strom, der ſich auch nicht durch den geringſten Stoß mehr zu erkennen gibt; ſo treten in denſelben Zuckungen ein, und zwar nach Maßgabe der größeren oder kleineren Vitalität des Thieres und der Richtung des Stromes, wie die vorher erwähnten Erſchütterungen, entweder beim Schließen und Oeffnen der Kette, oder nur bei erſterem oder bei letzterem allein. (Marianini in Zeitſch. 5. 438; Nobili ebend. 8. 230; 9. 110; Matteucci ebend. 9. 486.) Da ſchon die kleinſte einfache Kette ſolche Contractionen bewirkt, wie z. B. wenn man mit einem Kupferſtücke den Muskel eines Schenkels, mit einem Zinkſtücke den Nerv desſelben berührt, und die Metalle ſelbſt mit einander in Berührung ſetzt; ſo iſt ein Froſchſchenkel ein ungemein empfindliches Prüfungsmittel für einen electriſchen Strom: er war ſogar die erſte Veranlaſſung, die zur Entdeckung der Contactelectricität führte. Nimmt man einen ſehr langen Leitungsdraht, ſo kann man beim Oeffnen der Kette ſelbſt am menſchlichen Körper durch ein einziges Element Zuckungen hervorbringen, beſonders, wenn jener Draht ſpiralförmig gewunden iſt. Auch Vegetabilien ſind für den electriſchen Strom empfindlich.

Giulo hat mittelſt einer Säule von 50 Elementen an Mimosa pudica, mimosa sensitiva und asperata Bewegungen hervorgebracht. Starke Ströme desorganiſiren die Pflanzen.

Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Phyſik zu Bologna, hatte von ungefähr entdeckt, daß ein Froſch, dem die Haut abgezogen war, und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von ſich gab, in convulſiviſche Bewegungen gerieth, wenn er in eine electriſche Atmoſphäre kam, während man dem electriſchen Körper Funken entzog, und zugleich den Froſch mit einem Leiter der Electricität berührte. Er wollte dieſem Einfluſſe der E weiter nachſpüren, und bereitete ſich zu dieſem Zwecke Fröſche, indem er ſie tödtete, ihnen die Haut abzog, und die Cruralnerven entblößte. Einſt hing er ſolche Fröſche mittelſt kupferner Haken an eine eiſerne Terraſſe auf, und fand, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn ſie das Eiſen berührten. Galvani widmete dieſer Erſcheinung eine beſondere Aufmerkſamkeit, und fand, daß man dieſe Zuckungen am leichteſten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verſchiedenen Metallen berührt, die Metalle aber ſelbſt mittelſt eines guten Leiters der E in Verbindung ſetzt, daß ſie aber alſogleich ausbleiben, wenn man ſtatt der Metalle einen ſchlechten Leiter anwendet. Dieſes mit obiger Erfahrung zuſammen gehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene E in Umlauf geſetzt werde, und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieſelben Verſuche mit kritiſchem Blicke, und fand ſich durch die dabei Statt findenden Erſcheinungen veranlaßt, die Sache umzukehren, und anſtatt die Metalle als bloße Leiter und den animaliſchen Körper als Erreger der E anzuſehen, erſtere als Erreger der E und letzteren als bloßen Ableiter derſelben zu betrachten. Dazu vermochte ihn beſonders der Umſtand, daß die Zuckungen an einem Froſche ſehr ſchwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß ſich zwei iſolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer beſteht, während und nach ihrer Berührung mittelſt des Condenſators electriſch zeigen. — Einem Froſchſchenkel ähnlich verhalten ſich auch die Organe anderer jüngſt verſtorbenen Thiere, ja man wollte ſogar aus dem Eintreten oder Unterbleiben der Contractionen bei der Berührung mit einer einfachen Kette den Scheintod vom wahren Tode unterſcheiden. Man hat über dieſen Gegenſtand viele Verſuche bei hingerichteten Verbrechern angeſtellt und merkwürdige Erſcheinungen hervorgebracht. Aldini bewirkte durch eine Volta'ſche Säule an einem ſolchen Leichname eine heftige Bewegung der Füße, die Augen öffneten ſich und ſchloſſen ſich wieder, Mund, Backen und das ganze Geſicht verzerrte ſich heftig. Ure brachte gar an einer ſolchen Leiche den Athmungsproceß wieder in Gang, doch hörte derſelbe mit dem electriſchen Strome wieder auf. Ein erſt getödtetes Schaf kann durch den electriſchen Strom in convulſiviſche Bewegungen verſetzt werden, die den Anfällen von Epilepſie gleichen. Eine ausgeriſſene Krebsſchere, durch die dieſer Strom geht, zwickt heftig zuſammen; eine an einen Tiſch angenagelte Ochſenzunge zieht ſich, wenn man E durch ſie leitet, ſo ſtark zuſammen, daß ſie den Nagel auszieht. Legt man auf eine Zinkſcheibe ein Silberſtück und darauf einen Blutegel, ſo zeigt dieſer kein Unwohlſeyn, ſo lange er nur das Silber berührt; ſo wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

359. Der electriſche Strom einer Volta'ſchen Säule afficirt die Sinne auf eine eigene, höchſt merkwürdige Weiſe. Berührt man ein Augenlied, das man vorher naß gemacht hat, mit einem, das andere mit einem anderen Metalle; ſo bemerkt man in dem Augenblicke, wo dieſe Metalle unter ſich in Berührung gebracht werden, einen Lichtſchein. Mit einer Säule von 20—30 Elementen erreicht man dieſes ſchon, wenn man einen Pol derſelben mit der Hand berührt, den anderen aber mittelſt einer Metallſtange mit irgend einem Theile des Geſichtes in Verbindung bringt. Schließt man den Kreis einer Säule von 30—40 Elementen durch die Ohren, indem man die von den Polen kommenden Leitungsdrähte wie Sonden in die Gehörgänge ſteckt; ſo erhält man eine ſtarke Erſchütterung im Kopfe, und empfindet zugleich ein beſonderes Geräuſch. In der Naſe ſoll der negative Pol, nach Ritter, ein Nieſen erregen, der poſitive eine Abſtumpfung der Empfindlichkeit hervorbringen. Auf der Zunge erzeugt der poſitive Pol einen ſauren, der negative einen alkaliniſchen Geſchmack. (Lehrbuch des Galvanismus ꝛc. von Fechner. Leipzig 1829. S. 485 u. f.)

360. Die Electricität kann ſich in einem guten Leiter ohne die mindeſte Spur einer Lichterſcheinung fortpflanzen; aber freie, an keinen Stoff gebundene Electricität erſcheint leuchtend. Der elect. Funke, welcher in der Luft von einem Körper in den anderen übergeht, iſt demnach freie ſtrömende Electricität; denn er durchbohrt gleichſam die Luft und drückt ſie zuſammen, wie man leicht durch einen Verſuch zeigen kann, den man mittelſt des Apparates Fig. 333 anſtellt. Dieſer Apparat ſtellt gleichſam ein Communicationsgefäß mit Queckſilber vor, wovon ein Arm geſchloſſen iſt, und die zum Ueberſchlagen eines electriſchen Funkens durch die Luft in dieſen Arm nöthige Einrichtung hat. So wie der Funke überſchlägt, ſieht man das Queckſilber im engeren, offenen Arme ſteigen, zum Beweiſe, daß die E nicht durch die Maſſe der Luft gegangen ſey, ſondern dieſelbe beſeitiget habe. Ein electriſcher Funke findet immer nur zwiſchen zwei einander gegenüberſtehenden Körpern Statt, ſeine Länge beſtimmt das, was man Schlagweite nennt. Er richtet ſich nach der Natur, Größe und Geſtalt der Leiter, nach dem Mittel, in welchem er Statt findet und nach der Intenſität der E. Da dem Uebergange der E von einem Körper in einen anderen durch ein ſchlecht leitendes Mittel immer eine Electriſirung des letzteren durch Vertheilung vorausgeht, und dieſe deſto ſtärker ſeyn muß, je beſſer jener leitet; ſo wird in demſelben Grade auch das Beſtreben der zwei entgegengeſetzten E, das Zwiſchenmittel zu durchbrechen und einen electriſchen Funken zu erzeugen, und daher auch die Schlagweite zunehmen. Aus dem Vorhergehenden und aus dem Einfluſſe der Geſtalt der Körper auf die Anordnung der E kann man die Verſchiedenheit der electriſchen Lichtphänomene vollkommen begreifen. Der Conductor einer Electriſirmaſchine gibt deſto längere Funken, je ſtärker ſeine electriſche Spannung, je mehr gekrümmt, und je reiner (ſpitzenfreier) ſeine Oberfläche iſt. Aus einer kleinen, auf den Conductor aufgeſetzten Kugel kann man längere Fun-

ken ziehen als aus dem Conductor ſelbſt. In eine hölzerne (nicht vorzüglich gut leitende) Kugel gehen ganz kurze Funken über, längere in eine meſſingene, beſonders wenn dieſelbe klein und mit der Erde leitend verbunden iſt; eine Spitze erhält die E ſchon aus einer ſehr großen Entfernung ohne merklichen Funken. Je mehr man die Luft verdünnt, deſto weiter ſchlägt der Funke über; je mehr man ſie verdichtet, deſto kürzer wird er. In einer Glasröhre, worin man die Luft ſehr ſtark verdünnt hat, kann man ſelbſt mit einer mittelmäßigen E Maſchine 3 F. lange Funken erhalten, während in der Luft zu 12zolligen Funken eine beſonders gute Maſchine gehört. Der poſitive Funke iſt ſtets länger als der negative, wahrſcheinlich, weil unſere Maſchinen für die Anſammlung der + E günſtiger conſtruirt ſind, als für jene der — E. Die Schlagweite einer Leidnerflaſche oder einer electriſchen Batterie iſt immer der Dichte der angehäuften E proportional. Die Funken einer Volta'ſchen Säule ſind immer nur ſehr kurz, weil auch die Spannung der E einer ſolchen im Vergleiche mit jener einer E Maſchine nur ſehr gering iſt. Es gibt zwar ſchon ein einziges Element von 1 Q. Fuß Oberfläche einen kleinen Funken; dieſer wird bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſtärker, je mehr ſolche Elemente zu einer Batterie zuſammengeſetzt werden; aber ſelbſt die große Batterie der Royal-Inſtitution, die aus 2000 Doppelplatten von 32 Q. Zoll Oberfläche beſtand, gab dem berühmten Davy nur $^1/_{30}$ Zoll lange Funken, und erſt als man die Luft zwiſchen den Enden der Polardrähte ſtark verdünnt hatte, wuchs ihre Länge auf 4 Zoll. Mittelſt eines ſehr langen (am beſten ſpiralförmig zuſammengewundenen) Polardrahtes erhält man die ſtärkſten Funken (Nobili in Pogg. Ann. 27. 436). Daß ein ſolcher beim Oeffnen einer Kette eben ſowohl wie beim Schließen derſelben eintreten müſſe, iſt für ſich klar. Doch kann letzterer durch Umſtände, welche den erſteren nicht afficiren, bedeutend verſtärkt werden. Merkwürdig iſt es, daß man von einem Volta'ſchen Elemente bei gehöriger Vorſicht ſchon beim Schließen der Kette die das Element conſtituirenden Metalle, und zwar bevor ſich dieſe Metalle berühren, einen Funken erhält. An trockenen Säulen hat man noch keine Funken wahrgenommen. Kurze Funken erſcheinen gerade, lange hingegen zickzackförmig, wahrſcheinlich, weil ſie die Luft vor ſich verdichten, und den verdichteten Schichten ſeitwärts ausweichen wollen.

361. Die Farbe des elect. Funkens richtet ſich nach der Dichte und Leitungsfähigkeit des Mittels, nach der Stärke der elect. Spannung und nach der Natur der Körper, die den Funken geben und aufnehmen. Durch ein dreiſeitiges Glasprisma betrachtet, zeigt der electriſche Funke ein lebhaftes Farbenbild; Fraunhofer fand im Spectrum des gewöhnlichen electriſchen Funkens viele helle Querlinien, und Wheatſtone überzeugte ſich, daß dieſe Linien verſchieden ſind, je nach der Natur des Metalles, aus welchem der Funke gezogen wurde; das Medium des Funkens hat darauf keinen Einfluß, und das electriſche Licht iſt von dem eines verbrennenden Metalles weſentlich verſchie-

den. (Wheatſtone in Pogg. Ann. 36. 148.) Beachtenswerth iſt die von Fuſinieri gemachte Beobachtung, daß durch den electriſchen Funken ponderable Stoffe in einem ſehr fein zertheilten Zuſtande übertragen werden. So z. B. bemerkte er, als er zwiſchen einer goldenen und einer ſilbernen Kugel, deren jede mit einer Belegung einer Batterie in Verbindung ſtand, eine blanke Silberſcheibe aufſtellte, und die Batterie durch ſie entlud, auf jeder Seite dieſer Scheibe einen vergoldeten Fleck. (*Giornale di Fisica* ꝛc. 1825. *Bim. VI.* 450.) Der electriſche Funke einer Electriſirmaſchine hat immer eine violette Stelle, die dunkler iſt als der übrige Theil. Uebrigens bildet ein electriſcher Funke nicht ein ununterbrochenes Ganzes, wenn er auch dem freien Auge ſo erſcheint. Mittelſt eines ſchnell rotirenden, gegen die Drehungsaxe geneigten Planſpiegels kann man ſich von der Intermittenz der meiſten continuirlich erſcheinenden electriſchen Lichtphänomene überzeugen.

In verdichteter, atmoſphäriſcher Luft iſt der Funke einer Electriſirmaſchine ſehr lebhaft, im Kohlenſäuregas weiß und intenſiv, im Waſſerſtoffgas roth und ſchwach, in Waſſerdünſten gelb, in Alkohol- und Aetherdünſten ſeladongrün. Geht der Funke von Metall in Metall über, ſo iſt er meiſtens weiß, nimmt ihn eine Hand auf, violett; ein in Waſſer überſchlagender Funke iſt roth. Manche Farbenverſchiedenheit ſcheint von der Intenſität der E abzuhängen, denn ſelbſt unter denſelben Umſtänden ändert ſich die Farbe, wenn ſich die electriſche Spannung ändert. (Schweigg. J. 3. 145.) Auf den Geſetzen der electriſchen Lichterſcheinungen beruhen mehrere electriſche Apparate, z. B. die electriſche Spirale, die electriſche Illumination; das Leuchten der Barometer hat auch darin ſeinen Grund. Einige Phyſiker wollen an der Geſtalt des Funkens einen Unterſchied bemerkt haben, je nachdem er aus einem poſitiv oder aus einem negativ electriſchen Körper kommt. (Dove's Repert. 2. 42.)

362. Der Uebergang eines ſtarken Funkens durch die Luft iſt immer von einem eigenthümlichen Schalle begleitet, den ſich jeder leicht erklären kann, welcher weiß, daß die E die Luft durchbohre, ſie zuſammendrücke, und hinter ſich einen leeren Raum zurücklaſſe. Kleine Funken, wie ſie eine Volta'ſche Säule gibt, verurſachen nur ein Kniſtern, die Funken aus dem Conductor einer kräftigen Maſchine erregen ſchon ein Krachen, und der verſtärkte Funke einer Leidnerflaſche einen förmlichen Knall.

363. Den Phänomenen des electriſchen Lichtes ſind jene Wirkungen des electriſchen Stromes analog, durch welche Körper durchſcheinend oder phosphorescirend werden. Steckt man in einen Apfel zwei Leitungsdrähte ſo, daß ſie in deſſen Innerem nicht weit von einander abſtehen, und leitet dann einen Schlag durch ſie; ſo erſcheint der Apfel durchſcheinend. Daſſelbe kann man mit Tannenholz, Eiern ꝛc. machen. Leitet man einen Funken über ein Stück Kreide, ſo zeigt ſich nach der Exploſion ein Lichtſtreifen auf demſelben. Etwas Aehnliches bewirkt man durch einen Schlag, den man über Zucker, Schwerſpath, calcinirte Auſterſchalen ꝛc. leitet. Körper, wie z. B. Flußſpath, welche durch Calciniren die Eigenſchaft eingebüßt

haben, nach der Erwärmung im Dunkeln zu leuchten, bekommen dieſelbe wieder, wenn man electriſche Schläge über ſie leitet, ſelbſt wenn ſie von der E nicht unmittelbar berührt werden; ja ſelbſt ſolche Körper, die von Natur aus nicht geeignet ſind, durch Erhitzung zur Phosphorescenz gebracht werden zu können, nehmen durch Wärme Phosphorescenz an, wenn man electriſche Schläge über ſie geleitet hat. Oft phosphorescirt ein Körper, der dieſe Eigenſchaft ſchon von Natur aus hat, nach dem Behandeln mit electriſchen Strömen in einer anderen Farbe als vorher. (Pearſoll in Zeitſch. 9. 234; 10. 110. Heinrich über Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811 und 1812.)

364. Der electriſche Funke hat erwärmende Kraft, durch die er nicht bloß das Thermometer ſteigen macht, ſondern auch brennbare Körper anzuzünden vermag. Schon der vom Conductor einer Electriſirmaſchine, vom Electrophor oder von einer Volta'ſchen Säule kommende Funke entzündet Knallluft (electriſche Piſtole, Zündmaſchine), Schwefeläther, Colophoniumſtaub, Phosphor ꝛc., um ſo leichter bewirkt dieſes der verſtärkte Fünke einer Leidnerflaſche; doch muß manchmal, wie z. B. beim Anzünden des Schießpulvers, der electriſche Strom durch einen in die Kette gebrachten minder guten Leiter (z. B. durch naſſen Spagat) verzögert werden. Gießt man in ein koniſches Metallgefäß eine geringe Menge einer Salzauflöſung, ſetzt das Gefäß mit einem Pole einer kräftigen Volta'ſchen Säule in Verbindung und taucht eine Metallkugel in die Flüſſigkeit, welche mit dem anderen Pole der Säule communicirt; ſo kommt die Salzlöſung ſchon nach wenigen Minuten zum Sieden.

365. Der electriſche Strom wirkt auch auf jeden Körper, in welchem er Widerſtand erfährt, erwärmend. Nach Peltier bringt jeder electriſche Strom, er mag auch noch ſo ſchwach ſeyn, in dem Körper, durch den er geht, z. B. in einem Metalldrahte, eine Temperaturänderung hervor, und dieſe iſt von der Länge des Drahtes unabhängig, und ſoll ſich bloß nach der Quantität der ſtrömenden E richten. Bei übrigens gleichen Umſtänden iſt dieſe Temperaturänderung durch ſchwache Ströme an den Stellen, wo zwei ungleichartige Metalle zuſammengelöthet ſind, ſtärker als an anderen, und es iſt in dieſer Beziehung nicht gleichgültig, in welcher Richtung die E den Leiter durchſtrömt. Dieſe Temperaturänderung beſteht wohl in der Regel in einer Erwärmung, aber an der Löthſtelle zweier kryſtalliſirten Metalle tritt oft eine Erkältung ein, wenn der Strom die gehörige Richtung und Stärke hat (Dove's Repert. 1. 349). Es kann aber derſelbe Strom, wenn er nach einer Richtung geht, Erwärmung, nach der entgegengeſetzten Richtung aber Erkältung erzeugen. Starke Ströme, wie ſie ein großes Volta'ſches Element, eine Volta'ſche Säule, eine Electriſirmaſchine ꝛc. geben, bewirken immer in dem Körper, worin ſie fortſtrömen, eine Temperaturerhöhung, die bis zum Glühen, Schmelzen und Verflüchtigen des Leiters ſteigen kann. Legt man auf weißes Papier einen Streifen Blattgold, und leitet den Schlag einer Leid-

nerflaſche durch ihn, ſo verſchwindet das Metall mit einem Blitz; legt man einen ſolchen Streifen zwiſchen zwei Glasplatten, bringt ſie in eine kleine Preſſe, und leitet dann den verſtärkten Funken durch, ſo findet man das Metall ins Glas eingeſchmolzen. Leitet man einen ſtarken Schlag durch dünnen Eiſendraht, ſo erglüht dieſer, und wird in kleine feurige Kügelchen zerſtiebt. Je ſtärker die Ladung der Flaſche und je dünner der Draht iſt, und je weniger der Strom durch Hinderniſſe geſchwächt wird, deſto größer iſt die Wärmeentwicklung. Nach Harris bewirkt dieſelbe Electricitätsmenge, ſie mag was immer für eine Intenſität haben, ſtets dieſelbe Erhitzung. Leicht oxydirbare Metalle werden zwar beim Schmelzen durch den electriſchen Strom faſt immer zugleich oxydirt, aber die ſchwer oxydirbaren, wie z. B. Silber, Gold, brauchen dazu beſonders ſtarke Batterien. Jedes Metall gibt da ein Oxyd von beſonderer Farbe, aus der man faſt immer wieder das Metall ſelbſt errathen kann. Nach den gründlichen Unterſuchungen von Rieß hängt die Erwärmung, welche die E einer Batterie in einem Schließungsdrahte hervorbringt, immer von dem Widerſtande, die der Strom erfährt, oder wie Rieß ſich ausdrückt, von der Verzögerungskraft des Schließungsdrahtes ab, und wird gefunden, wenn man dieſe ſeine Verzögerungskraft durch ſeine Wärmecapacität und ſein ſpec. Gewicht dividirt. Auch das Mittel, worin ſich ein Leitungsdraht befindet, hat auf deſſen Erwärmung durch E einen großen Einfluß, und es wird ein Draht, der, wenn er in Aether getaucht iſt, durch einen Strom kaum warm wird, durch denſelben glühend gemacht, wenn ihn Luft umgibt, und gar geſchmolzen, wenn er ſich im leeren Raume befindet. (Davy in Gilb Ann. 71. 246.)

Rieß hat durch ſorgfältige Verſuche die Verzögerungskraft x, und das Erwärmungsvermögen y nachſtehender Metalle ſo gefunden, wie es die beigeſetzten Zahlen angeben. Die Größe $\frac{1}{x}$ iſt das, was man ſonſt Leitungsfähigkeit zu nennen pflegt:

	x	y	$\frac{1}{x}$
Silber	1043	1267	148.74
Kupfer	1552	1133	100
Gold	1746	2112	88.87
Cadmium . . .	4047	—	38.35
Meſſing	5602	3861	27.70
Palladium . . .	8535	—	18.18
Eiſen	8789	7080	17.66
Platin	10000	10000	15.52
Zinn	10530	15700	14.70
Nickel	11800	8727	13.15
Blei	15030	28760	10.32
Neuſilber . . .	17520	—	8.86.

(Rieß in Pogg. Ann 40. 321; 43. 47; 45. 1.)

366. Die Kraft des Stromes einer Volta'ſchen Säule, Metalldrähte glühend zu machen und zu verbrennen, richtet ſich mehr nach der Größe als nach der Anzahl ihrer Plattenpaare. Eine Zinkplatte

von einem Quadratzoll Oberfläche, die mit einer ununterbrochenen Kupferplatte zu beiden Seiten umgeben iſt, und mit dieſer durch einen ſehr kurzen und feinen Platindraht in Verbindung ſteht, erregt ein Glühen des letzteren, wenn ſie in eine verdünnte Säure getaucht wird (Wollaſton's Feuerzeug). Säulen mit großen Platten erregen aber dieſes Phänomen in einem erſtaunlichen Grade. Children's Apparat macht einen Platindraht von $^1/_{20}$ Zoll Dicke und 18 Zoll Länge, der als Polardraht gebraucht wird, ſo hell glühend, daß man den Lichtglanz kaum ertragen kann, und ſchmilzt ihn endlich gar. Wurde im oben genannten Apparate der Royal-Inſtitution eine Kohle von 1 Zoll Länge und $^1/_6$ Zoll Dicke in die Kette gebracht, und die Polardrähte auf $^1/_3$ Zoll genähert; ſo begann mehr als die Hälfte davon ſchnell zu glühen, und man konnte hierauf, begünſtigt durch die große Leitungsfähigkeit der durch Hitze verdünnten Luft, die Enden zweier ſolcher Kohlen 4 Zoll weit von einander entfernen, ohne die Entladung durch die Luft zu unterbrechen, ja es bildete ſich da ein ungemein glänzender, nach oben gekrümmter Lichtbogen, der jede Subſtanz, welche man dazwiſchen brachte, ſchmolz, und ſelbſt Quarz, Saphir, Kalk verflüchtigte. An Children's Apparat war die Wärmeerregung ſo groß, daß man damit Metalle ſchmelzen konnte, welche im Ofenfeuer völlig unſchmelzbar ſind, wie z. B. Iridium. Eine Volta'ſche Säule kann aber nur einen Draht von beſtimmter Dicke glühend machen; je dicker dieſer Draht iſt, deſto ſtärker muß der electriſche Strom ſeyn, um ein Erglühen desſelben zu bewirken. Auch die Natur des Drahtes hat darauf großen Einfluß. Ein Strom, der einen Silberdraht ohne Erhitzung desſelben durchſtrömt, bringt einen Draht zum Glühen, der aus abwechſelnden Silber- und Platinſtücken beſteht. Dieſer Umſtand deutet darauf hin, daß die Wärme durch den electriſchen Strom nicht wie bei einer Compreſſion gleichſam ausgetrieben (ausgedrückt), ſondern erzeugt werde. (*Ann. de Chim.* 40. 371.)

367. Der electriſche Strom ſucht die kleinſten Theile der Körper, durch die er geht, von einander zu trennen, und dieſe ſeine Kraft iſt oft groß genug, um die Molecularkraft zu überwältigen. Schlechte Leiter, deren Maſſe die E überhaupt nicht zu durchdringen vermag, werden oft von derſelben zerriſſen. Die Uebertragung metalliſcher Theile durch den electriſchen Funken, wie ſie Fuſinieri bemerkt hat, rührt ohne Zweifel von der die Molecularanziehung überwältigenden Kraft der E her. Leitet man einen ſtarken electriſchen Strom mittelſt zweier, etwas von einander abſtehenden Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörſers, den man mit einem Korkpfropfe verſchloſſen hat; ſo wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Papier, Holz, Glas ꝛc. durchbohrt er. Dieſes geſchieht auch oft an Leidnerflaſchen, die ſich ſelbſt durch die Glaswände entladen. Die Geſchwindigkeit des Stromes iſt ſo groß, daß ſelbſt ein frei hängendes Goldblatt durchbohrt werden kann. Wird der Strom einer Leidnerflaſche mittelſt zweier Dräthe, die durch eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre gehen, und in

derſelben etwa $^1/_2$ Zoll von einander abſtehen, durch das Waſſer geleitet, ſo zerſprengt er das Glas. Die ausdehnſame Kraft der E iſt ſo groß, daß durch einen Schlag, den man durch einen Waſſertropfen leitet, der in einer Glaskugel mit 1 Zoll dicken Wänden eingeſchloſſen iſt, die Kugel in Stücke zerriſſen wird. Der Funke einer Volta'ſchen Säule vermag keine ſo großen, mechaniſchen Wirkungen hervorzubringen.

368. Zu den wichtigſten Wirkungen electriſcher Ströme gehören die **chemiſchen Zerſetzungen**. Sie werden hervorgebracht, indem man den electriſchen Strom durch den zu zerſetzenden Körper leitet. Nach der gewöhnlichen Art, ſolche Verſuche anzuſtellen, wird der betreffende Körper ſo in den electriſchen Kreis eingeſchoben, daß die poſitive E nach einer, die negative nach der entgegengeſetzten Richtung durch ihn ſtrömen muß. Um mit gemeiner E einen Zerſetzungsverſuch zu machen, bringt man den zu zerſetzenden Körper zwiſchen die Spitzen feiner Platindrähte, und leitet die E durch ihn, mit der Vorſicht, daß kein Funke über ihn oder nebenvorbei ſchlage, weil dieſer in der Luft Salpeterſäure bilden würde, ſetzt dann den Conductor der Maſchine mit einem, die Reibzeuge mit dem anderen Drahte in leitende Verbindung, und dreht die Maſchine. Bringt man auf ſolche Weiſe ein Stück Lackmuspapier, verbunden mit einem Stücke Curcumapapier, beide mit einer Glauberſalzlöſung befeuchtet, zwiſchen die beiden Drähte, ſo zeigen ſich ſchon nach wenigen Umdrehungen der Scheibe an der Eintrittsſtelle der poſitiven E Spuren von Säure, an der Eintrittsſtelle der negativen E Spuren von Alkali, zum Beweiſe, daß das Glauberſalz zerſetzt worden, und einer der zwei Beſtandtheile am poſitiven, der andere am negativen Pole aufgetreten ſey. Auf ähnliche Weiſe werden mit der Volta'ſchen Säule Zerſetzungsverſuche gemacht. Soll z. B. mit einer ſolchen Waſſer zerſetzt werden; ſo leitet man von jedem Pole der Säule einen Gold- oder Platindraht in das Waſſer, ſo, daß die Enden der Drähte eine dünne Waſſerſchichte zwiſchen ſich haben. Es iſt räthlich, beſonders, wenn man es mit ſchwachen electriſchen Strömen zu thun hat, Polardrähte von ſehr ungleicher Stärke zu nehmen. Da bemerkt man alſogleich eine Luftentwicklung, und findet, wenn man die Luftblaſen auffängt, am poſitiven Pole Sauerſtoffgas, am negativen Waſſerſtoffgas, und zwar genau in dem Verhältniſſe, wie ſie im Waſſer vorhanden ſind, vorausgeſetzt, daß man dasſelbe vor dem Verſuche gut von Luft gereiniget, und auf jenen Theil der Gaſe Rückſicht genommen hat, der beim Verſuche abſorbirt wird. Dieſer Umſtand hat dem poſitiven Pole der Volta'ſchen Säule auch den Namen **Sauerſtoffpol**, dem negativen den Namen **Waſſerſtoffpol** zugezogen. Braucht man zum Leitungsdraht am poſitiven Pole ein oxydirbares Metall, ſo erſcheint an demſelben kein Sauerſtoff, dafür oxydirt ſich aber der Leitungsdraht daſelbſt. So wie Waſſer werden auch Säuren, Salze ꝛc. zerſetzt, und es wandert immer einer der ausgeſchiedenen Beſtandtheile zu einem, der andere zum zweiten Pole. Dadurch characteriſirt ſich

dieſe Zerſetzung vorzüglich, und unterſcheidet ſich von jeder gewöhnlichen, wo die Zerſetzungsproducte vermengt zum Vorſcheine kommen, wenn ſie auch von Electricität herrührt. Indeß kann nicht jeder Körper durch den electriſchen Strom zerſetzt werden, oder nach Faraday's Terminologie, es iſt nicht jeder Körper ein Electrolyt, und derjenige, welcher es iſt, fordert dazu einen Strom von beſtimmter Intenſität, deren Größe aber nicht von der Verwandtſchaft der zu trennenden Beſtandtheile abhängt. Daß nur Leiter der E Electrolyte ſeyn können, iſt für ſich klar. Die Beſtandtheile, in welche ein Electrolyt zerlegt wird, heißen Jonen. Den bis jetzt gemachten Erfahrungen zu Folge ſind alle chemiſch einfachen Stoffe, mit Ausnahme von Kohle, Phosphor, Stickſtoff, Bor und Aluminium, Jonen. Von zuſammengeſetzten Körpern, die aus denſelben Elementen beſtehen, kann nur einer zu den Jonen gehören. Auf Seite 544 ſind die bis jetzt bekannten Jonen aufgezählt.

Ungeachtet man bei Zerſetzungsverſuchen in der Regel den poſitiven und den negativen E Strom zugleich wirken läßt, ſo iſt dieſes doch nicht unumgänglich nothwendig, ſondern es reicht dazu ſchon der einfache poſitive oder negative langſam abfließende Strom allein hin. So z. B. gelingt obiger Verſuch mit gemeiner E eben ſo gut, wenn man nur einen Draht mit dem Conductor verbindet, und den anderen in die Erde gehen läßt. Mit einer Volta'ſchen Säule läßt ſich ein ſolcher Verſuch nicht wohl anſtellen, weil ihr einfacher Strom zu ſchwach iſt; doch iſt es geſtattet, anzunehmen, derſelbe würde auch gelingen, wenn man im Stande wäre, den einfachen Strom hinreichend zu ſteigern. Wo immer zwei heterogene Körper ſich berühren, entſteht eine galvaniſche Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird, und chemiſche Wirkungen erzeugt. So ſchmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders als aus einem gläſernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüſſigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eiſernen Nägeln zuſammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerſt an den Löthſtellen matt; Queckſilber mit einem anderen Metalle gemiſcht, oxydirt ſich leichter, als wenn es rein iſt; bleierne, kalkführendes Waſſer enthaltende Röhren werden nur an jenen Stellen durch abgeſetzten Kalk verſtopft, wo ſie zuſammengelöthet ſind.

369. Die durch electro-chemiſche Zerſetzung frei gewordenen Stoffe erſcheinen, wie geſagt, immer an den Stellen, wo die beiden E in den zerſetzbaren Körper eintreten. Gewöhnlich befinden ſich dort auch die Pole, doch iſt dieſes nicht nothwendig, wie folgender Verſuch zeigt: Man theile die obere Hälfte eines Glasgefäßes A (Fig. 334) durch eine Glimmerplatte in zwei Abtheilungen a und b, fülle in dasſelbe eine ſtarke Löſung ſchwefelſaurer Bittererde ein, bis ſie etwa 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht; und gieße dann in eine Abtheilung auf die Salzlöſung behutſam eine Schichte Waſſer. Taucht man nun in die bloß Salzlöſung enthaltende Abtheilung b den poſitiven, in die andere a den negativen Polardraht, letzteren aber ſo, daß er nicht bis zur Salzlöſung hinabreicht; ſo wird alſogleich eine Blaſenentwicklung eintreten, und die Salzlöſung zerſetzt werden. Aber die an der Seite des negativen Poles frei werdende Bittererde häuft

ſich nicht am Pole an, ſondern bleibt an der Grenzfläche vom Waſſer und der Salzlöſung. Vertheilt man die zu zerſetzende Flüſſigkeit, z. B. eine wäſſerige Glauberſalzlöſung, in mehrere Gefäße A, B, C (Fig. 335), ſtellt dieſelben in eine Reihe zuſammen, verbindet ſie mit einander leitend durch angefeuchtete Asbeſtfäden, und taucht dann die Polardrähte e und f in die zwei äußerſten Gefäße; ſo findet auch nur in dieſen ein Freiwerden der Beſtandtheile des zerſetzbaren Stoffes Statt. Wenn man aber ſtatt des Asbeſtes Draht nimmt, ſo bemerkt man an jedem Ende desſelben electrolytiſche Wirkungen, und es ſcheidet ſich in dieſem Falle in e, b, d Säure, in a, c, f Alkali aus. Wenn man, während a b und c d mit Salzlöſung getränkte Asbeſtfäden ſind, das mittlere Gefäß B mit Veilchenſyrup füllt, ſo bemerkt man daran keine Spur der Einwirkung einer Säure oder eines Alkali, ungeachtet man annehmen zu müſſen glaubt, es werde die Säure von a nach b, das Alkali von d nach c übergeführt. Trennt man eine flüſſige Säule, welche durch einen electriſchen Strom zerſetzt werden kann, durch dazwiſchengeſtellte Platten aus nicht leicht oxydirbarem Metalle, und läßt dann den Strom durchziehen, ſo ſetzt ſich auf einer Seite jeder Scheidewand das eine, auf der anderen das andere Zerſetzungsproduct ab. Solche Scheidewände ſchwächen aber immer den Strom, und zwar deſto mehr, je weniger Verwandtſchaft das Metall der Wand zum Sauerſtoffe hat. Ein Strom, der bereits durch mehrere derlei Scheidewände gegangen iſt, erleidet beim ferneren Durchgange durch noch mehrere ſolche Diaphragmen eine viel geringere Schwächung, als ein ſolcher, der noch keinen Widerſtand der Art zu überwältigen hatte. Man kann nicht umhin, hierin an das ähnliche Verhalten der Licht- und Wärmeſtrahlen erinnert zu werden. Weil die frei gewordenen Stoffe, in der Regel, an den Polen erſcheinen, ſo war man lange der Anſicht, dieſe Pole wirken anziehend auf den einen, abſtoßend auf den anderen Beſtandtheil des Electrolyten. Allein dieſe Anſicht iſt nicht zuläſſig, weil ſchon durch Wirkſamkeit eines einzigen Stromes Zerſetzungen eintreten (368), die Ablagerung der Zerſetzungsproducte nicht nothwendig an den Polen Statt haben muß, und endlich, weil die Zerſetzung und Fortführung der Beſtandtheile nicht von der chemiſchen Verwandtſchaft der anweſenden Subſtanzen allein abhängig iſt, und oft derlei Ueberführungen gerade bei kräftigern Verwandtſchaften der Beſtandtheile eines Körpers in höherem Maße Statt finden als bei geringeren. So z. B. hat Faraday gefunden, daß, wenn verdünnte Schwefelſäure und eine ſolche Quantität einer wäſſerigen Glauberſalzlöſung, welche eben ſo viel Säure enthielt, durch denſelben electriſchen Strom zerſetzt wurden, von erſterer $2\frac{1}{2}$—3mal weniger von einem Pol zum anderen fortgeführt wurde als von letzterer, ungeachtet die Verwandtſchaft der Schwefelſäure zum Natrum viel größer iſt als zum Waſſer. Ueberhaupt geht aus Allem hervor, daß die Pole einer geſchloſſenen Kette nur die Thore ſind, durch welche die E einem Körper zugeführt wird, und daß das Freiwerden der Stoffe und ihr Wandern an einen be-

ſtimmten Ort nicht weſentlich von einer äußeren Kraft herrühre, ſondern davon, daß die Verwandtſchaften der Körper durch die E, als einer nach entgegengeſetzten Richtungen gleich ſtark, aber entgegengeſetzt wirkenden Kraft, ſo abgeändert werden, um in einer Richtung ſtärker als in einer anderen wirken zu können.

Iſt A (Fig. 336) der poſitive, B der negative Pol einer Kette, zwiſchen welchen ſich ein Körper befindet, deſſen chemiſche Beſtandtheile a und b ſind, ſo wird durch den electriſchen Strom die Affinität der Theilchen a zu b in der Richtung AB vermindert, in der Richtung BA hingegen vermehrt. Das Theilchen a′, welches in der Richtung BA an b grenzt, und das vor der Einwirkung des electriſchen Stromes mit b′ verbunden war und im chemiſchen Gleichgewichte ſtand, bekommt durch dieſen Strom eine größere Verwandtſchaft zu b als zu b′, trennt ſich daher von b′ und verbindet ſich mit b, ſo daß demnach a frei und gleichſam abgeſtoßen wird, während ſich a″ mit b′ ꝛc. verbindet und nächſt B das letzte b (b″), ſo wie das an A grenzende a aus aller Verbindung tritt. Demnach erfolgt die Fortführung der Stoffe in der electriſchen Kette durch eine Reihe von Zerſetzungen und Zuſammenſetzungen in entgegengeſetzten Richtungen, bis zu den Grenzen des zerſetzbaren Körpers, wo dieſelben ausgeſchieden werden, weil ſie keinen Stoff finden, mit dem ſie ſich verbinden konnten. Daraus begreift man, wie Leiter, welche die zu zerſetzende in mehrere Gefäße vertheilte Flüſſigkeit verbinden, ſelbſt gleich Polen erſcheinen können, warum am poſitiven Pole ſtets eine Oxydation eintritt, falls der Polardraht oxydirbar iſt und der zerſetzte Körper Sauerſtoff enthält.

370. Welcher Beſtandtheil eines electrolyſirten Körpers an der Eintrittsſtelle der poſitiven, und welcher an der Eintrittsſtelle der negativen E erſcheint, das hängt von dem chemiſchen Verhältniſſe der Beſtandtheile des zuſammengeſetzten Körpers ab. Sauerſtoff erſcheint unter allen Umſtänden an der Eintrittsſtelle der + E, andere Körper können aber bald an dieſer, bald an der anderen Stelle erſcheinen. So z. B. erſcheint Schwefel, wenn er aus Schwefelſäure abgeſchieden wird, an dem Eintritte der — E, hingegen, wenn er durch Zerſetzung der Schwefelleber gewonnen wird, am Eintritte der + E. Im Allgemeinen erſcheint bei der Electrolyſirung der den Oxyden chemiſch gleich geſtellten Stoffe, wie z. B. bei den Sulphuriden, Chloriden, Jodiden, Bromiden, Seleniden, Carboniden ꝛc. immer der den Sauerſtoff vertretende Körper da, wo + E, der den Waſſerſtoff vertretende da, wo — E eintritt, und eben ſo bei electrolyſirten Säuren oder Salzen die ſauerfähige Grundlage oder die Baſis des Salzes an der Eintrittsſtelle der — E, das ſäuernde Princip oder die Säure an der Eintrittsſtelle der + E. Ein ſaures Salz wird zuerſt in Säure und Neutralſalz, und erſt hierauf das letztere in Säure und Baſis zerlegt.

Man kann alle Electrolyte A, B, C, D, ... Z, die mit einander eine Verbindung eingehen, in eine ſolche Reihe zuſammenſtellen, daß jeder, wenn er aus einer Verbindung mit einem nachfolgenden durch einen electriſchen Strom ausgeſchieden wird, am poſitiven Pole erſcheint, wenn er aber einen vorhergehenden verläßt, ſich am negativen Pole ſammelt.

371. Wenn man den electriſchen Strom durch dünne Drähte in die zu zerſetzende Flüſſigkeit leitet, ſo hängen ſich ihre Beſtandtheile, falls ſie feſt ſind, in der Regel an ſie an, und bei Anwendung ſchwacher electriſcher Kräfte und beſonderer Vorrichtungen, mittelſt welcher die Ausſcheidungen ſehr langſam erfolgen, können ſich die frei werdenden kleinſten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem anderen anordnen, ſo daß man auf dieſem Wege manchen Körper kryſtalliſirt erhält, der bei keinem anderen Mittel in Kryſtallform erſcheint. (Becquerel in Zeitſchr. 6. 351; 8. 93.) Wenn man einen Polardraht in eine ebene, polirte Scheibe ausgehen läßt, während der andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieſer Scheibe ſenkrecht gegenüberſteht; ſo legt ſich meiſtens das Product der Zerſetzung, welches an dem der Scheibe entſprechenden Pole erſcheint, in Form concentriſcher Kreiſe an, deren Mittelpunkt der Spitze des anderen Polardrahtes gerade gegenüberſteht. Nobili hat dieſe ringförmigen Ablagerungen mit beſonderem Fleiße unterſucht. Man bringt ſie mit ſehr ſchwachen electriſchen Strömen in kurzer Zeit hervor. Eſſigſaures Kupfer mit Salpeter gemiſcht, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine ſchöne Erſcheinung dieſer Art. (Nobili in Zeitſch. 2. 435; 3. 65. Pogg. Ann. 33. 537. Schweigg. J. 54. 40.) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung ſolcher Figuren hin, die in einer eſſigſauren Kupferoxydlöſung befindliche Silberplatte einige Minuten lang mit einem Zinkſtäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

372. Die Wirkung zwiſchen den Polardrähten und den Beſtandtheilen der Körper und die durch Electricität begünſtigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper bewirkt beſondere, oft ſehr intereſſante Bewegungen, die ſchon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt, aber erſt in der neueren Zeit von Herſchel, Pfaff, Runge u. a. genauer beachtet wurden. Bedeckt man Queckſilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure, und ſetzt die zwei Pole mittelſt Platindraht mit dieſer in leitende Verbindung, ohne durch ſie das Queckſilber zu berühren; ſo entſtehen Strömungen, die nach Umſtänden bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einſchlagen, und ſich überhaupt nach der Natur des flüſſigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Queckſilbers, und nach der Stärke der Adhäſion desſelben an das Gefäß, worin es ſich befindet ꝛc. richten. Starke Säuren geben auch ſtarke Strömungen, ſo daß man ſie ſchon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann.

In einer ſauren Flüſſigkeit wird das Queckſilber vom poſitiven Pole weggetrieben, in einer alkaliſchen gleichſam angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Queckſilber, ſo plattet es ſich ab, es beginnt eine Strömung vom poſitiven Pole aus, und dauert noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der poſitive das Queckſilber, ſo erfolgt eine ſchwache Contraction, das Queckſilber oxydirt ſich und wird zähe. Uebergießt man Queckſilber $^1/_2$ L. hoch mit einer geſättigten Kochſalzlöſung und legt einen kleinen Kupfervitriolkryſtall vorſichtig darauf; ſo wird das

Queckſilber allmälig matt und überzieht ſich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stücke reinen Eiſen; ſo zerreißt die Haut und verliert ſich, es beginnen Strömungen, der Kryſtall vermindert ſich zuſehends und verſchwindet endlich ganz. Eben ſo geräth ein kleiner Queckſilbertropfen in einer geſättigten Auflöſung von ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul in eine heftige rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkſtäbchen berührt, und dieſe Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet iſt. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

373. Nicht alle bei electrolytiſchen Verſuchen frei werdenden Stoffe ſind unmittelbare (primäre) Reſultate der electro-chemiſchen Kraft, ſondern manche derſelben werden erſt durch Wirkung der primär ausgeſchiedenen Subſtanzen (Jonen) auf den Polardraht oder auf die im Electrolyte enthaltenen Beſtandtheile erzeugt, und ſind demnach **ſecundäre** Zerſetzungsproducte. Waſſer iſt ein wahrer Electrolyt und ſeine Jonen ſind Waſſerſtoff und Sauerſtoff, wenn man Platin- oder Golddrähte als Polardraht anwendet; wird aber Kohle als ſolcher gebraucht, ſo erſcheint am poſitiven Pole ſtatt des Sauerſtoffes Kohlenſäure und Kohlenoxydgas, offenbar ſecundäre Producte. Eben ſo iſt das Blei, welches aus eſſigſaurem Blei ausgeſchieden wird, ein ſecundäres Product, entſtanden durch die reducirende Kraft des Waſſerſtoffes, den das Waſſer der Eſſigſäure liefert. Ueberhaupt ſpielt der Waſſerſtoff durch ſeine reducirende Kraft bei electrolytiſchen Verſuchen eine große Rolle, wie ſchon früher **Fiſcher** gezeigt hat. (**Fiſcher's** Verhältniß der chemiſchen Verwandtſchaft zur galv. Elect. Berlin 1830. Vergleiche **Pfaff** in Schweigg. J. 64. 1.) Das Entſtehen der ſecundären Producte iſt nicht immer nach den gewöhnlichen Affinitätsgeſetzen erklärbar, indem Stoffe, die ſo eben durch E ausgeſchieden worden, Verbindungen eingehen, die ſie ſonſt nicht eingegangen wären. Ob ein Zerſetzungsproduct primärer und ſecundärer Natur ſey, erkennt man oft ſchon aus ſeiner Natur, am beſten aber aus der Quantität, in der es zum Vorſchein kommt. Vermöge ſolcher ſecundären Wirkungen haben die Polardrähte einen ſtarken Einfluß auf die electro-chemiſche Wirkung, ungeachtet ſie ſonſt nur als Leiter in Betrachtung kommen.

374. Da der electriſche Strom im Polardrahte einer Volta'ſchen Säule anhaltend iſt, ſo muß mit jeder Entladung der Säule eine Ladung verbunden ſeyn, und daher in der Säule ſelbſt ein Strom Statt finden, deſſen Richtung dem im Polardrahte entgegengeſetzt iſt. Durch dieſen Strom wird die leitende Flüſſigkeit zwiſchen den Platten zerſetzt, denn es iſt Bedingung der Wirkſamkeit einer Volta'ſchen Säule, daß dieſe Flüſſigkeit ein Electrolyt ſey. Die Beſtandtheile derſelben werden an die Metalle, welche die electriſchen Pole vorſtellen, übertragen, die Thätigkeit der Säule geſchwächt und endlich ganz aufgehoben. Nur Säulen, bei denen jedes Metall eines Elementes ſeine eigene Flüſſigkeit hat, durch deren Zerſetzung es nicht verändert wird, leiden faſt keinen Abbruch in ihrer Kraft. Mit der Zerſetzung des feuchten Leiters tritt auch eine Temperaturerhöhung ein, aber dieſe iſt nicht an

allen Theilen der Säule gleich groß, ſondern nimmt, nach Muray, vom negativen Ende gegen das poſitive zu. Lange, bevor eine Säule zu wirken aufhört, hat der Strom ſeine Continuität verloren und die Säule braucht einige Zeit, um die Ladung anzunehmen, die der Draht vermöge ſeiner Leitungsfähigkeit abzuleiten vermag. Oft wird eine Säule wieder thätig, wenn man die Zinkplatten vom Oxyde befreit oder den Apparat erwärmt.

375. Die zerſetzende Kraft eines electriſchen Stromes, ſowohl bezüglich der zwiſchen den Polardrähten als auch der zwiſchen den Elementen der Säule enthaltenen Electrolyten, hängt aber einzig und allein von der Quantität der ſtrömenden Electricität ab, und es zerſetzt eine beſtimmte Electricitätsmenge immer dieſelbe Quantität eines Stoffes, ſie mag ſchnell oder langſam, mit größerer oder geringeren Dichte durchgeführt werden, vorausgeſetzt, daß ſie überhaupt die zur Erzeugung electrolytiſcher Wirkungen nöthige Intenſität hat. Die Leitungsfähigkeit der Polardrähte oder des feuchten Leiters kann wohl die Schnelligkeit des Stromes modificiren, aber nicht die Quantität der zerſetzten Maſſe ändern. Wird ein Strom in mehrere einzelne Ströme getheilt, ſo wirken dieſe Ströme zuſammen eben ſo, wie der ganze Strom für ſich. Zwiſchen zwei Polardrähten wird z. B. gerade ſo viel Waſſer in einer beſtimmten Zeit zerſetzt, wie in allen Zellen der Batterie zuſammen genommen. Von verſchiedenen Stoffen zerſetzt dieſelbe Electricitätsmenge verſchiedene Quantitäten, doch ſtehen dieſe im verſchiedenen Verhältniſſe der Atomengewichte der Stoffe, d. h. dieſelbe E Menge zerſetzt von jedem Körper gleich viele Atome. Ein Stoff, der durch E leicht zerſetzbar und immer in derſelben Qualität zu haben iſt, und deſſen Beſtandtheile ſich leicht meſſen laſſen, kann demnach zu einem Maßſtabe für die Quantität der ſtrömenden E, oder wie Faraday ſagt, zu einem Voltameter dienen. Ein ſolcher Stoff iſt das Waſſer, und ein Apparat, worin man dieſes durch E zerſetzen und die daraus entſtandenen Gaſe meſſen kann, iſt demnach ein paſſendes Voltameter.

Faraday wendete bei Verſuchen über die Zerſetzung des Waſſers verſchiedene Gefäße zum Auffangen der entwickelten Gaſe an, immer aber gingen die Platindrähte, welche die E ins Waſſer leiteten, in Platten aus. Er fand dieſelbe electrolytiſche Wirkung der E, dieſe Platten mochten 0.7 Zoll breit und 4 Z. lang, 0.5 Z. breit und 0.8 Z. lang oder gar 0.02 Z. breit und 0.5 Z lang ſeyn, nur mußte dafür geſorgt werden, daß ſich die Gaſe nicht wieder zu Waſſer verbanden, und daß die Löſung derſelben in Waſſer möglich gering ausfiel. Als man drei Zerſetzungsinſtrumente aufſtellte, wo ſich der electriſche Strom, nachdem er durch das erſte gegangen war, in zwei andere zertheilen und ſich hierauf wieder vereinigen mußte, ſo fand man die Summe der Gaſe in den zwei letzten Gefäßen gleich jenen in dem erſten. Man erhielt immer dasſelbe Reſultat, das Waſſer mochte durch Schwefelſäure, durch Aetzkali oder Aetznatrum, durch Bitterſalz oder Glauberſalz leitend gemacht worden ſeyn. Eben ſo wenig fand man einen Unterſchied in der zerſetzenden Kraft der E, der poſitive Polardraht mochte aus Platin, Kupfer oder Zink beſtehen. (Faraday in Pogg. Ann. 33. 316.) Bei der Zerſetzung von Zinnchlorür fand man, daß der negative Platindraht

durch Aufnahme von Zinn um 3.2 Gran zugenommen habe. Durch denſelben Strom wurden aber 3.85 K. Z. Gaſe aus Waſſer enthalten, welche 0.49742 Gran wogen, indem 10 K. Z. ſolchen Gaſes 12 92 Gran geben. Setzt man das Atomengewicht des Waſſers = 9 (Waſſerſtoff = 1), ſo hat man 0.49742 : 3.2 = 9 : 57.9, und letztere Zahl iſt in der That ſehr nahe das Atomengewicht des Zinnes. Folgende Tafel enthält die von Faraday beſtimmten Jonen, mit ihren (electriſchen) Aequivalenten oder Atomengewichten.

Sauerſtoff	1	Waſſerſtoff	0.125	Queckſilber	25
Chlor	4.44	Kalium	4.9	Silber	13.5
Jod	15.75	Natrium	2 91	Platin	12.33
Brom	9.79	Lithium	1.25	Gold	
Fluor	2.34	Barium	8.59	Ammoniak	2.13
Cyan	3.25	Strontium	5.48	Kali	5.9
Schwefelſäure	5	Kalium	2.56	Natrum	3.91
Selenſäure	8	Magneſium	1.59	Lithion	2.25
Salpeterſäure	6.75	Mangan	3.46	Baryt	9.59
Chlorſäure	9.44	Zink	4.06	Strontian	6.47
Phosphorſäure	4.40	Zinn	7.24	Kalk	3.56
Kohlenſäure	2.75	Blei	12.94	Talkerde	2.59
Borſäure	3	Eiſen	3.5	Thonerde	
Eſſigſäure	6.38	Kupfer	3.95	Oxydule	
Weinſäure	8.25	Kadmium	6.98	Chinin	21.45
Citronenſäure	7.15	Cerium	5.75	Cinchonin	21.45
Kleeſäure	4.5	Kobalt	3.69	Morphin	20
Schwefel	2	Nickel	3.69	Pflanzenbaſen	36.25
Selen		Antimon	8 08		
Schwefelcyan		Wismuth	8.88		

376. Das hier aufgeſtellte Geſetz gibt ein Mittel an die Hand, die Zweckmäßigkeit des Baues verſchiedener Volta'ſcher Säulen numeriſch mit einander zu vergleichen. Da nämlich zwiſchen den Polardrähten und in den Zellen der Säule gleich viel Waſſer zerſetzt werden muß, der Sauerſtoff aber zur Oxydation des Zinkes verwendet wird; ſo kann man leicht von der zwiſchen den Polardrähten zerſetzten Waſſermenge auf die Quantität des durch den electriſchen Strom gebildeten Zinkoxydes in den Zellen ſchließen. Um was mehr Zink oxydirt worden iſt, rührt von einer, dem electriſchen Strome fremden Wirkung her, und je beſſer die Conſtruction einer Säule iſt, deſto kleiner wird dieſer Ueberſchuß ſeyn.

Es kommen bekanntlich auf 1 Gewichtstheil zerſetzten Waſſers $\frac{8}{9}$ Th. Sauerſtoff, und dieſe können $\frac{8}{9} \times 4.03 = 4.03$ Th. Zink oxydiren. In einer ganz vollkommenen Säule dürfen daher auf jeden Gran zerſetzten Waſſers nur etwa 4 Gran Zinkverluſt kommen.

377. Ein electriſcher Strom kann nicht bloß chemiſche Wirkungen hervorbringen, ſondern auch ſolche, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgeſetzen, aber in einem der Tendenz des Stromes entgegengeſetzten Sinne eintreten ſollen, hindern. Legt man ein Stück Eiſen in eine Schale von Glas oder Porcellan, und übergießt es mit verdünnter Salpeterſäure, ſo löſet ſich dieſes Metall in der Säure auf. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, ſo wird das Eiſen nicht mehr

angegriffen, dafür aber das Zink, und erſt wenn letzteres ganz aufgezehrt iſt, kommt die Reihe wieder an erſteres. Dasſelbe erfolgt mit Kupfer, Zinn, Blei oder Silber, oder wenn man Schwefelſäure oder Salzſäure der Salpeterſäure ſubſtituirt. Selbſt Gold und Platin werden durch Zink gegen die Einwirkung des Königswaſſers geſchützt. Man kann ſich den Hergang bei dieſen Erſcheinungen ſo vorſtellen: Wenn Eiſen in Salpeterſäure getaucht wird, ſo entſteht ein electriſcher Strom zwiſchen der Flüſſigkeit und dem Metalle, und dieſer bedingt die Zerſetzung eines Theiles der Säure und die Oxydation des Metalles auf Koſten des von ihr frei gewordenen oder bereits in ihren Poren enthaltenen Sauerſtoffes. Daß ſich das Oxyd in der übrigen Säure auflöſet, bedarf keines weiteren Beweiſes, und wird durch die gewöhnlichen Affinitätsgeſetze vermittelt. Berührt man aber das Eiſen mit Zink, ſo tritt ein anderer, entgegengeſetzter Strom auf, der ſtärker iſt als der erſtere, und durch deſſen Einfluß das Zink, nicht das Kupfer oxydirt wird, eben weil er in ſeiner Richtung dem vorigen entgegengeſetzt iſt. Dieſes Oxyd iſt es, welches nun in der Säure aufgelöſet wird. Demnach hängt das Angegriffenwerden des einen oder anderen Metalles nur davon ab, welches von beiden durch den Einfluß des electriſchen Stromes oxydirt wird; an dem weiteren Verlaufe hat die E keinen Einfluß mehr. Daß Eiſen durch Berührung mit Zink in feuchter Luft nicht vor Oxydation geſchützt werden könne, iſt daraus erklärbar, daß der electriſche Strom, zu welchem durch Berührung der zwei Metalle die Tendenz vorhanden iſt, wegen zu geringer Leitungsfähigkeit der feuchten Luft nicht zur Wirklichkeit kommen kann. Auf dieſen Grundſätzen beruht die Schützung des Kupferbeſchlages von Schiffen durch Zink, Eiſen ꝛc. gegen Einwirkung des Meerwaſſers nach Davy. Nimmt man an, daß die Tendenz zu einem electriſchen Strome und unter günſtigen Umſtänden der Strom ſelbſt in einem Metalle die dieſe Tendenz erzeugende Urſache überdauert, ſo erklären ſich, wenigſtens nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wiſſenſchaft, aus obiger Anſicht alle jene Erſcheinungen, die Schönbein neueſtens wieder hervorgehoben und mit neuen, ſehr intereſſanten vermehrt hat, und die ſich darauf beziehen, ein Metall gegen eine Säure, die es im natürlichen Zuſtande ſtark ergreift, ganz indifferent zu machen. Jenes Hinausreichen der Wirkung der Electricität auf einen Körper über die Dauer ihrer Exiſtenz beweiſen aber beſtimmte Erfahrungen. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zerſetzung eines Körpers, z. B. des Waſſers, durch den electriſchen Strom gedient haben, erlangen dadurch die Kraft, dieſe Zerlegung ſelbſt dann noch anhaltend, und zwar oft mehrere Tage fortzuſetzen, nachdem ſie von der Säule getrennt worden ſind; ja man kann ſie aus der Flüſſigkeit herausnehmen und reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen. Nach Pfaff ſind nicht alle Metalle hiezu in gleichem Grade geeignet, und zwar Eiſen- und Zinkdrähte im höchſten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin-, und Golddrähte; an Meſſing- und Bleidrähten bemerkt man hiervon nichts. Aber wenn auch ſolche Drähte kein Waſſer mehr zerſetzen, ſo iſt doch die Tendenz,

dieſes zu thun, noch nicht verſchwunden; denn ſie geben oft auf anderen Wegen noch Zeichen eines vorhandenen electriſchen Stromes.

Setzt man einen Eiſendraht einige Augenblicke mit dem poſitiven Pole einer Volta'ſchen Säule in Berührung, ſo wird er hierauf von Salpeterſäure, die ſo verdünnt iſt, daß ihr ſp. Gew. 1.35 nicht überſchreitet, nicht angegriffen; er gibt mit Platin oder Silber kein wirkſames Volta'ſches Element mehr, oxydirt ſich, als Polardraht einer electriſchen Säule gebraucht, am Pole nicht, zerſetzt den Kupfervitriol nicht mehr, kurz er verhält ſich, wie Schönbein ſagt, ganz paſſiv. Dieſe Paſſivität erlangt er auch auf andere Weiſe, z. B. durch Glühen und Anlaufen in der Luft, und zwar nicht bloß an der geglühten oder angelaufenen Stelle, nur muß man das geglühte Stück zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen, gegen die er paſſiv ſeyn ſoll; er theilt dieſe ſeine Eigenſchaft einem anderen Eiſendraht mit, der um das nicht geglühte Ende feſtgewunden, oder mittelſt eines Platindrahtes damit verbunden iſt. Dieſer paſſive Zuſtand hört mit der Zeit von ſelbſt auf, und zwar iſt ſelber nach Verſchiedenheit der Mittel, durch die er erzeugt wurde, auch verſchieden. Erhitzt man die Salpeterſäure, gegen welche ein Eiſendraht paſſiv iſt, bis gegen 88°, oder erſchüttert man das aus der Säure hervorragende Ende heftig, oder bringt man zwei paſſive, in derſelben Säure befindliche Drähte an der oberſten Fläche mit einander in Berührung ꝛc., ſo wird die Paſſivität augenblicklich aufgehoben. (Pogg. Ann. 37. 590, 590; 38. 444, 492; 39. 122. 43. 1, 13. Das Verhalten des Eiſens zum Sauerſtoffe von Schönbein. Baſel 1837.)

378. Die chemiſchen Wirkungen der E weiſen ſehr deutlich auf eine innige Verbindung zwiſchen den electriſchen und chemiſchen Kräften der Körper hin. Man hat ſogar zu beweiſen geſucht, daß jedem Theilchen (Atome) eines Körpers eine beſtimmte Menge E eigen ſey, und daß gerade das Zuführen einer gleichen Menge im entgegengeſetzten Sinne deſſen Zerſetzung beſtimme. Verbindet man dieſes mit der erwieſenen Wahrheit, daß die chemiſchen Aequivalente mit den electriſchen in genauer Relation ſtehen, ſo erſcheinen die Atomengewichte als jene Körpermengen, welche gleichviel E enthalten oder gleiche electriſche Kräfte beſitzen. Es beruhen demnach die Verbindungen nach beſtimmten Verhältniſſen auf der Electricität der Atome, und die gleichen Quantitäten E ſind es, welche ſowohl jene Verhältniſſe als die Atomengewichte beſtimmen.

379. Der electriſche Strom ertheilt jedem Körper, durch den er geht, magnetiſche Kraft. Der Polardraht einer thätigen Volta'ſchen Säule zieht Eiſen an wie ein Magnet, er mag aus was immer für einem Materiale beſtehen, wenn er nur die E hinreichend leitet; doch dauert dieſes nur ſo lange, als der electriſche Strom anhält, ſobald er aber aufhört, verſchwinden auch alle Spuren des Magnetismus. Der Zuſtand eines ſolchen Magnetes iſt bis jetzt noch nicht ſo weit ausgemittelt, daß man ſeine Pole anzugeben im Stande wäre, und wenn es überhaupt erlaubt iſt, von magnetiſchen Polen eines ſolchen zu reden, ſo muß man ihn als einen Transverſalmagnet anſehen. Eiſenfeile, die man ihm nähert, hängen ſich nicht ſo an ihn an, wie ſie dieſes an einem gewöhnlichen Magnete thun, ſondern ſie wickeln ihn ein und legen ſich der ganzen Länge nach quer um ihn herum. Dieſe

merkwürdige Wirkung des electriſchen Stromes hat zuerſt Arago wahrgenommen.

380. Die magnetiſche Kraft des electriſchen Stromes offenbaret ſich auf eine merkwürdige Weiſe dadurch, daß man durch einen ſolchen Strom Eiſen und Stahl magnetiſiren kann. Wird ein electriſcher Strom ſchief über ein Eiſenſtäbchen geleitet, ſo erlangt dasſelbe ſchon magnetiſche Kraft. Dieſe wird noch größer, wenn der Strom das Stäbchen rechtwinkelig kreuzet, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere electriſche Ströme quer über das Stäbchen gehen läßt. Letzteres findet Statt, wenn man den Polardraht zu einer hohlen Schraube zuſammenwindet und den zu magnetiſirenden Körper darein legt; denn in dieſem Falle kann man ſich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube ſenkrecht ſteht, während die andere mit ihr parallel lauft. Letztere bringt keine hieher gehörige Wirkung hervor, und es vertritt daher die Schraube eben ſo viele quer über das Stäbchen geſpannte Polardrähte, als Schraubenwindungen in die Länge desſelben fallen. Die magnetiſirende Kraft, welche da unter günſtigen Umſtänden eine Volta'ſche Säule entwickelt, iſt unglaublich. Man kann durch dieſes Mittel ein weiches Hufeiſen, das überfirnißt, mit Seide und mit einem etwa 1 L. dicken Kupferdraht ſchraubenförmig umwickelt iſt, und deſſen Ende mit den Polen eines mäßigen Volta'ſchen Elementes in Verbindung ſtehen, ſtark magnetiſiren, und dieſer Magnetismus bleibt, ſelbſt wenn der Strom aufgehört hat, bis man den Anker wegnimmt, in welchem Falle er aber ganz verloren geht. Die Größe dieſer Kraft hängt von der Stärke des electriſchen Stromes, der Homogenität, Weichheit und Maſſe des Eiſens, vom Gewichte des Ankers, der Form der Berührungsfläche zwiſchen beiden, von der Leitungsfähigkeit, Dicke und Länge des Drahtes, von der Anzahl der Windungen, und endlich von der guten Iſolirung derſelben ab. Man kann annehmen, daß bei übrigens gleichen Umſtänden der erzeugte Magnetismus der Stärke des electriſchen Stromes direct proportionirt ſey; doch wird die volle magnetiſche Kraft nicht im Augenblicke des Stromeintrittes, ſondern erſt allmälig erreicht. Alles, was die Quantität der durch den Polardraht ſtrömenden E vermindert, ſetzt auch die magnetiſirende Wirkung des Stromes herab. Daher wirkt ein Strom, der durch Schwefelſäure geht, ſo ſchwach. Man kann immer die Lage der Pole des ſo zu erzeugenden Magnetes angeben. In einer rechtsgewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte der negativen E am nächſten iſt, und daher die andere die Südhälfte; in einer links gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil. Der electriſche Strom aus einer Leidnerflaſche bewirkt im Allgemeinen dieſelben Erſcheinungen, wie der einer Volta'ſchen Säule, und zwar ertheilt er einem Drahte noch ſtärkeren Magnetismus; doch zeigt er beſondere Eigenthümlichkeiten. Bringt man nämlich über einem horizontalen, langen Drahte dünne und kurze Stahlſtücke in einer auf den Draht ſenkrechten Richtung ſo an, daß ſie eine ungleiche Entfernung vom

Drahte haben, und entladet dann eine Leidnerflaſche oder eine Batterie durch dieſen Draht; ſo findet man zwar die Stahlſtücke magnetiſch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derſelben Seite, ſondern wenn z. B. das dem Strome nächſte Stäbchen den Nordpol an der rechten Seite hat, ſo findet dieſes in der Regel auch noch beim zweiten, dritten ꝛc. Statt; doch iſt ihre Kraft immer ſchwächer, je weiter ſie vom Strome entfernt waren, hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf dieſe wieder eine andere mit rechts gelegenen Nordpolen u. ſ. f. Die Anzahl dieſer Abwechslungen hängt, nach Savary, der dieſes Phänomen entdeckte, von der Stärke des Stromes, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimenſionen der Metallſtücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derſelbe Gelehrte hat ferner gefunden, daß die Lage der Pole eines Stahlſtückes und die Stärke ihrer Kraft auch durch die Subſtanz modificirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetiſirende Kraft ganz, eine dünne unterſtützt ſie. Dasſelbe thun auch andere Metalle (Pogg. Ann. 9. 443). Nach Moll wirkt die magnetiſirende Kraft des electriſchen Stromes durch Elfenbein, gebrannten Thon, Stein, Holz, ja ſelbſt eine an und für ſich dieſe Kraft hemmende Metallhülle bleibt ohne Wirkung, wenn ſie mit einigen kleinen Löchern verſehen iſt. (Zeitſch. 6. 342.) Es ſcheinen hierbei ſchon magneto-electriſche Ströme im Spiele zu ſeyn, von denen erſt ſpäter die Rede ſeyn wird. Auch Llambia's Erfahrung, welcher gemäß in einem Leiter, der eine Leidnerflaſche entladet, zwei gleichzeitige, einander entgegengeſetzte Ströme eintreten, wovon nur der ſtärkere magnetiſirt, ſcheint in dieſe Categorie zu gehören. (Pogg. Ann. 34. 84.) Es iſt klar, daß man einen, wenn auch nur temporären Electromagnet zur Erzeugung von Stahlmagneten durch Streichen benützen könne. Ein Stahlſtab, der im glühenden Zuſtande mit jedem Ende an einen Pol eines ſtarken Electromagnetes angelegt und in dieſer Lage abgelöſcht wird, ſoll hiedurch ſtarken Magnetismus erhalten. (*Ann. de Chim.* 51. 442.)

Sturgeon hat zuerſt auf die mächtige magnetiſirende Kraft eines ſchwachen electriſchen Stromes aufmerkſam gemacht. Ein weiches Hufeiſen von 29 Pfd. mit Spiralen von 5 Mill. dickem Eiſendrahte erhielt durch eine einfache Kette von Platten von 14 Mill. Durchmeſſer eine Tragkraft von 48 Pfd. und mit einer ſolchen von Platten von 70 Q. Centimenter Oberfläche eine Kraft von 124 — 153 Pfd. Einem 11 Pfd. ſchweren weichem Hufeiſen ertheilt man leicht mit einem Zinkkupferelemente von 1 Q. Fuß Oberfläche und 2 L. dicken Kupferdrähten eine Kraft von 120 Pfd., mit einem Elemente von 4 Q. F. aber leicht eine Kraft von 200 Pfd. Ten Eyk hat hierin das Größte erzielt und einem Hufeiſen von $59\frac{1}{2}$ Pfd. Gewicht mit einem Elemente von $4\frac{7}{9}$ Q. F. Oberfläche eine Tragkraft von 2063 Pfd. ertheilt. (Moll in Zeitſch. 9. 106 und in Pogg. Ann. 29. 468; Ten Eyk in Schweigg. J. 65. 115.) Dal Negro magnetiſirte drei Hufeiſen, A, B, C, mit demſelben Strome. A wog 1.5, B 0.35, C 0.292 Kilog., und es trug nach der Hand A 9.6, B 7.5, C 4.62 Kilog. mittelſt eines flachen, hingegen A 15.8, B 7.8, C 8.33 Kilog. mittelſt eines convexen Ankers. Ein Hufeiſen mit Kupferſpiralen erhielt eine Tragkraft von 5.9 Kilog., mit

Eiſenſpiralen aber nur 1.8. Merkwürdig iſt das von Dal Negro gefundene Geſetz, nach welchem ſich die magnetiſirende Kraft eines Electromotors nicht nach der Größe der Oberfläche, ſondern nach deſſen Umfang richten ſoll. (Zeitſch. n. F. 1. 321; 2. 286.)

381. Nichts iſt natürlicher, als die Vermuthung, daß der electriſche Strom, der im Stande iſt, den Polardraht zu magnetiſiren, auch eine Magnetnadel afficiren müſſe. Oerſted hat im Jahre 1820 dieſe Einwirkung zuerſt kennen gelehrt und dadurch zu allen electro-magnetiſchen Entdeckungen, die ſchnell auf ſeinen Fund folgten, den Weg gebahnt. Dieſer Gelehrte fand nämlich, daß der electriſche Strom einer Volta'ſchen Säule unter gewiſſen Umſtänden eine Magnetnadel aus ihrer Richtung bringe. Um die Geſetze dieſer merkwürdigen Wirkung des electriſchen Stromes leichter zu überſehen und für ſie kürzere Ausdrücke wählen zu können, denke man ſich immer nur den poſitiven Strom, der im Polardrahte vom Zinkpole zum Kupferpole, in der Säule aber vom Kupferpole zum Zinkpole geht, und abſtrahire vom negativen Strome gänzlich, vergeſſe aber nicht, daß dieſes nur der Abkürzung wegen geſchieht, keineswegs aber zum Behufe einer Erklärung. Unter dieſen Vorausſetzungen erfährt man folgende Geſetze: 1) Iſt der electriſche Strom von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal ſchwebenden Magnetnadel parallel und letztere mit erſterem in einerlei Verticalebene; ſo wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach Weſt abgelenkt, wenn der electriſche Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Oſt, wenn er ſich unter der Nadel befindet. 2) Hat der electriſche Strom dieſelbe Richtung und ſteht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm; ſo wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der electriſche Strom an der Weſtſeite des Magnetes, vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er ſich an ſeiner Oſtſeite befindet. 3) Geht der electriſche Strom von Nord nach Süd, ſo erfolgen alle dieſe Ablenkungen nach entgegengeſetzter Richtung. 4) Macht der electriſche Strom mit dem magnetiſchen Meridian einen ſpitzigen Winkel, ſo erfolgt die Ablenkung wie vorhin, nur ſchwächer. Man kann ſich vorſtellen, als ließe ſich dieſer Strom in zwei andere Ströme zerlegen, wovon einer im magnetiſchen Meridian liegt und auf die Magnetnadel nach den früheren Angaben wirkt, während der zweite auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſteht und keine Wirkung auf ſie äußert. 5) Der Ablenkungswinkel iſt bei gleicher Wirkſamkeit der Säule deſto größer, je näher der electriſche Strom am Magnete vorbeigeht. Biot, Savary und Schmidt fanden, daß die ablenkende Kraft verkehrt wie die Entfernung wachſe. Ob ſich zwiſchen dem Magnete und dem Polardrahte gute oder ſchlechte Leiter der E befinden, und ob der Polardraht gerade iſt oder Biegungen hat, iſt einerlei. Eine ganze Batterie bewirkt keine größere Ablenkung einer Magnetnadel als ein einziges Element derſelben, wenn nur die angewandten Drähte dick genug ſind, um alle Electricität des Elementes leiten zu können, zum Be-

weiſe, daß ſich die ablenkende Kraft des electriſchen Stromes nach der Quantität der ſtrömenden richte und von der Intenſität des Stromes ganz unabhängig ſey. 6) Eine aſtatiſche Magnetnadel wird von einem electriſchen Strome ſo geſtellt, daß ihre magnetiſche Axe auf der Richtung des Stromes ſenkrecht ſteht. — Man kann alle dieſe Geſetze auf einmal überſehen, wenn man ſich den Beobachter in den electriſchen Strom verſetzt und mit dem Geſichte nach der Magnetnadel hingewendet denkt, ſo daß die E von ſeinen Füßen zum Kopfe geht. In dieſem Falle wird der Nordpol der Magnetnadel ſtets links abgelenkt. Aus dem Ganzen geht hervor, daß vom Polardrahte eine vor der Hand unbeſtimmte Kraft ausgehe, welche die Magnetnadel in eine auf den electriſchen Strom ſenkrechte Richtung zu ſtellen ſucht, und zwar ſo, daß ihr Nordpol an der linken Seite des im Strome befindlichen Beobachters liegt. Daß eine gewöhnliche, nicht aſtatiſche Magnetnadel nicht in dieſe Richtung kommt, ſondern in einer Zwiſchenlage im Gleichgewichte ſteht, rührt davon her, daß ſie von zwei Kräften, nämlich vom Erdmagnetismus und von der Kraft des electriſchen Stromes zugleich afficirt wird. Iſt daher A (Fig. 337) ein Querſchnitt des Polardrahtes in der Ebene des Papieres, durch welchen der electriſche Strom von der Vorderſeite des Papieres gegen die Rückſeite geht, ſo wird er eine Magnetnadel ſo zu ſtellen ſuchen, wie die Pfeile anzeigen, deren Spitzen ihren Nordpol bedeuten.

382. Der Umſtand, daß ſich die ablenkende Kraft eines electriſchen Stromes nach der Quantität der ſtrömenden E richtet, erlaubt, dieſe Kraft zum Meſſen jener Quantität zu benützen. Nimmt man ſtatt eines gewöhnlichen Leitungsdrahtes zum Schließen einer Kette einen gleichförmig dicken, breiten Metallſtreifen von einer Länge, welche ſeine Breite wenigſtens fünfmal übertrifft, und läßt über und nahe an demſelben eine Magnetnadel ſpielen, deren Länge nicht unter ein Viertel der Streifenbreite beträgt; ſo wirkt ein in dieſen Streifen fließender Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derſelben gleich ein, weil er auch den ganzen Streifen der ganzen Breite nach gleichmäßig durchſtrömt. Iſt p die magnetiſche Kraft der Nadel, P jene der Erde, Q die Kraft des wirkſamen und der Quantität der E proportionalen Stromes, endlich α der Ablenkungswinkel der Nadel; ſo gibt $Pp \sin \alpha$ die Richtkraft der Nadel, $Qp \cos \alpha$ die ablenkende Kraft des Stromes an, und man hat:

$$Pp \sin \alpha = Qp \cos \alpha, \quad \text{oder} \quad Q = P \tang \alpha.$$

Es kann wohl auch ein gewöhnlicher Draht ſtatt des Streifens angewendet werden, aber dann iſt die Formel, welche die Relation zwiſchen dem Ablenkungswinkel und der Stromſtärke angibt, viel complicirter. Leichter gelangt man zum Ziele, wenn man die Magnetnadel an einem elaſtiſchen Metall- oder Glasfaden über den Polardraht ſchweben, den electriſchen Strom darauf wirken läßt, und dann durch Torſion des Fadens die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückführt; da iſt die Torſion der ablenkenden Kraft proportionirt. Endlich kann man auch eine aſtatiſche Magnetnadel über dem Polardraht oſcilliren laſſen,

und aus der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Anzahl der Schwingungen auf die Stromkraft ſchließen.

Man hat zwar oft verſucht, die Stärke eines electriſchen Stromes durch andere als die hier erwähnten Wirkungen desſelben zu meſſen, wie z. B. durch ſeine chemiſche Kraft, ſein Erwärmungsvermögen ꝛc., allein nicht immer hat man darauf geachtet, daß nicht jede Wirkung allein von der Menge der ſtrömenden E abhänge; auch laſſen ſich nicht alle gleich leicht beobachten und meſſen. Die chemiſche Wirkung allein läßt ſich der electro-magnetiſchen an die Seite ſtellen, doch geht ihr erſtere vor, weil ſie empfindlicher iſt, augenblicklich eintritt und leicht gemeſſen werden kann.

383. Ein ſchwacher electriſcher Strom bewirkt auch nur eine geringe Ablenkung der Magnetnadel; mehrere parallele, nach derſelben Richtung forlaufende, ſchwache Ströme können aber eine ſo große Wirkung erzeugen, wie ein einzelner ſehr ſtarker Strom. Da der Polardraht einer Volta'ſchen Säule ſeiner ganzen Länge nach ununterbrochen von E durchſtrömt wird, ſo kann man auch mit Erfolg einen langen Draht mehrmal auf eine Magnetnadel wirken laſſen, wenn man ihn ringförmig zuſammenwindet und die Magnetnadel in die Oeffnung des Ringes ſtellt. Auf dieſe Weiſe erhält man Schweigger's Multiplicator (Fig. 338), ein Inſtrument, welches für bewegte Electricität dasſelbe iſt, was ein Electroſkop für ruhende E leiſtet. (Gilb. Ann. 68. 206.) Man macht es ausnehmend empfindlich, wenn man nach Nobili's Vorſchlag (Pogg. Ann. 8. 338) den Polardraht zu zwei ovalen, in entgegengeſetzten Richtungen laufenden Ringen windet und in ihre Oeffnungen zwei mit einander verbundene aſtatiſch zuſammengeſetzte Magnetnadeln hängt (Fig. 339). Zu beſonderen Zwecken hat man auch Multiplicatoren, bei denen ſtatt des ringförmig und mehrfach gewundenen Drahtes ein breites Blech in die durch Fig. 340 dargeſtellte Form a gebogen, und zwiſchen die beiden Schenkel desſelben eine Magnetnadel gebracht iſt, die mit einer zweiten, außerhalb des oberen Blechſchenkels angebrachten verbunden worden, und mit derſelben ein aſtatiſches Syſtem bildet. (Schweigg. 57. 1.) Die Empfindlichkeit von Multiplicatoren mit langem Drahte hängt von der Leitkraft des Drahtes, von der Iſolirung der einzelnen Windungen, von der Anzahl derſelben und von der Art ihrer Windung ab. Man hat außer den genannten noch verſchiedene andere Einrichtungen der Multiplicatoren erdacht, um ſie empfindlicher, oder um ihre Anzeigen den electriſchen Strömen proportional zu machen. Will man aus der Ablenkung der Nadel eines Multiplicators nicht bloß das Daſeyn eines electriſchen Stromes erkennen, ſondern auch ſeine Stärke (Quantität der E) meſſen, ſo muß man durch Verſuche die mehreren Strömen von bekannter Stärke entſprechenden Ablenkungen, und aus dieſen erſt (am beſten durch graphiſche Conſtruction) das Geſetz ausmitteln, welches die Relation zwiſchen Stromſtärke und Ablenkung der Magnetnadel darſtellt. Bei gewiſſen regelmäßigen Anordnungen der Drahtwindungen kann man die Beziehung zwiſchen der ablenkenden Kraft und der Ablenkung auch durch Rechnung finden.

Colladon hat ſtatt des Drahtes Kupferſtreifen (*Ann. de Chim.* 33. 62.), Hare Zinnfolie gewählt, Hachette hat gar den Polardraht zuerſt um die Schenkel eines hufeiſenförmig gekrümmten Eiſens gewunden und die Magnetnadel zwiſchen dieſe Schenkel geſtellt, damit ſie, wenn der durch den Draht gehende E Strom das Eiſen magnetiſch gemacht hat, durch ihre Annäherung an den einen oder den anderen Schenkel das Daſeyn, die Stärke und die Richtung des electriſchen Stromes anzeige. (Pogg. Ann. 27. 560.) Perſon hat dasſelbe zu erreichen geglaubt, indem er den Polardraht in Form einer hohlen Schraube zuſammenwand und die Nadel in ihre Are ſtellte. Auch die Aufhängung der Magnetnadel iſt verſchieden. Beim einfachſten Multiplicator ruht ſie auf einer Spitze; bei Nobili's Multiplicator hängt ſie an feinen Seidenfäden; Hare hängt ſie an einen feinen Glasfaden. Man kann einen einzigen langen Polardraht brauchen, oder deren zwei neben einander anwenden, wie Nörrenberg und ſpäter Nobili empfohlen haben. Die Windungen werden nicht immer auf gleiche Weiſe gemacht. Marianini (Zeitſch. 4. 42.) windet den Draht fächerförmig (Fig. 341), damit die Nadel, wenn ſie unter einer Windung vorbeigegangen iſt, alſogleich unter eine andere komme; Nervander (*Ann. de Chim.* 55. 156) ringsum eine cylindriſche Schale in gleichen Abſtänden von einander (Fig. 342). Bisher hat man aber mehr Sorgfalt auf die Windungen als auf die Magnetnadel verwendet. Große und ſtarke Magnete, wie Gauß vorſchlägt, ſcheinen mehr zu nützen, als alle bisher angewandten Mittel, um die Empfindlichkeit der Multiplicatoren zu erhöhen. Sehr viel kommt hierbei auf gute Iſolirung der einzelnen Windungen an. Man erhält ſie meiſtens durch einen Seidenüberzug, und verſtärkt ſie noch durch Ueberfirniſſen. Beſonders gute Dienſte ſoll ein Ueberzug mit einer Cautſchukauflöſung thun. Da die Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplicators ſich mittelſt gut iſolirter Leitungsdrähte in bedeutender Entfernung leicht zu Stande bringen läßt, ſo hat man die zwei Richtungen der Ablenkung, welche den zwei verſchiedenen Richtungen des electriſchen Stromes entſprechen, als primitive Zeichen zur Telegraphie zu benützen verſucht, durch deren Combination ſich beliebig viele Zeichen bilden laſſen. Verſchiedene, höchſt ſinnreiche Einrichtungen des electro-magnetiſchen Telegraphen wurden von Gauß, Schilling, Wheatſtone, Steinheil u. a. angegeben.

384. Gleichwie ein fixer Polardraht eine bewegliche Magnetnadel in Bewegung ſetzt, eben ſo muß ein fixer Magnet auf einen beweglichen Polardraht wirken. Um dieſes zu zeigen, denke man ſich den doppelt rechtwinkelig gebogenen Draht O, Fig. 343, um die verticalen Spitzen m und n leicht beweglich und von Electricität durchſtrömt. Dieſer Draht wird, ſo wie man ihm einen Magnet nähert, von demſelben angezogen oder abgeſtoßen, und zwar erſteres, wenn der E Strom im Leiter aufwärts geht, und von der Drehungsaxe angeſehen, den genäherten Nordpol zur Rechten hat, letzteres, wenn in Bezug auf die Richtung des Stromes oder die Stellung oder die Beſchaffenheit des genäherten Poles das Gegentheil Statt findet. Ein um eine verticale Axe beweglicher Multiplicator dient zu demſelben Zwecke. Ein ſpiralförmig um zwei Glasſtücke gewundener Polardraht Q, deſſen abwärts gehendes Ende K in Queckſilber taucht, während ſein aufwärts gerichtetes in einen Haken auslauft, mit dem er in die Pfanne L eingreift, folgt einem Magnetpole, ſo wie ein Magnet dem anderen. Bei

jedem dieſer Apparate kann, wenn derſelbe nur empfindlich genug iſt, die magnetiſche Kraft eines Stahlſtabes durch jene der Erde vertreten werden. Es ſtellt ſich auch wirklich der Draht O oder ein an ſeiner Stelle befindlicher Multiplicator durch den Einfluß des Erdmagnetismus auf den electriſchen Strom in eine auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechte Ebene, der Polardraht Q hingegen, wie eine gewöhnliche Magnetnadel, in den Meridian ſelbſt. Richtet man den Draht O ſo ein, daß ſeine Maſſe zu beiden Seiten der Axe mn gleich vertheilt iſt, und er daher, wenn dieſe ſeine Axe horizontal liegt, in Bezug auf dieſe äcquilibrirt erſcheint, ſo ſtellt er ſich, ſobald ein electriſcher Strom durch ihn geht, in eine auf der Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel ſenkrechte Ebene.

385. Aus dem Vorhergehenden iſt zu vermuthen, daß auch ein Polardraht auf einen anderen eine Wirkung ausübe. Dieſes hat Ampère in der That nachgewieſen und gezeigt, daß ſich zwei parallele Polardrähte anziehen, wenn ſie die E in derſelben Richtung durchſtrömt, hingegen abſtoßen, wenn die Richtungen der Ströme entgegengeſetzt ſind. Man kann allgemein ſagen, daß ſich zwei Ströme, deren Richtungen einen Winkel einſchließen, anziehen, wenn beide gegen den Scheitel des Winkels hin- oder davon wegſtrömen; hingegen ſich abſtoßen, wenn einer gegen den Scheitel des Winkels hin-, der andere davon wegſtrömt. Die Theile desſelben Stromes ſtoßen einander ab. Um ſich von der Anziehung und Abſtoßung zweier Ströme zu überzeugen, bringe man in die Nähe eines Polardrahtes einen zweiten geradlinigen Polardraht an, und laſſe beide von der E durchſtrömen. Da werden ſie ſich nähern, wenn die Ströme in beiden übereinſtimmend; hingegen ſich von einander entfernen, wenn die beiden Ströme entgegengeſetzt fließen. Windet man einen langen Draht zu einer ſchlaffen, hohlen Spirale zuſammen, hängt ſie in verticaler Richtung ſo auf, daß das untere Ende in Queckſilber taucht, und leitet einen electriſchen Strom durch, ſo ſpannt ſich die Spirale durch die Anziehung der in den einzelnen Windungen gleich fließenden Ströme, und oſcillirt nach der Länge, indem ſie dabei unten aus dem Queckſilber tritt und ſich wieder eintaucht. Um die Wirkung eines electriſchen Stromes auf ſich ſelbſt zu erfahren, bediene man ſich eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig. 344), fülle in jedes Fach Queckſilber ein, ſetze eines in a mit dem poſitiven, das andere in b mit dem negativen Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung und lege auf das Queckſilber einen Metalldraht cd, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der electriſche Strom beginnt, gleitet der Leiter cd längs der Oberfläche des Queckſilbers hin und entfernt ſich von a und b. Ampère hat nachgewieſen, daß die Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen andern eine Folge der Action iſt, die jedes kleinſte Theilchen des einen auf jedes kleinſte Theilchen des andern längs der Geraden ausübt, welche beide verbindet. Dieſe Action iſt der Stärke der electriſchen Ströme, den Größen der Theilchen direct, dem Quadrate des Abſtandes derſelben verkehrt proportionirt, hängt aber über-

dieß noch von einem Factor ab, der durch die gegenſeitige Lage der Richtungen der Stromtheilchen beſtimmt wird, und deſſen mathematiſchen Ausdruck Ampère angegeben hat. Hiernach läßt ſich die aus der Geſammtaction aller Theilchen reſultirende Wirkung auf das Schärfſte berechnen.

386. Wenn man die Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet, wie ſie in Fig. 337 dargeſtellt wurde, näher betrachtet, ſo kommt man leicht auf die Vermuthung, daß der Nordpol des Magnetes um den Polardraht nach einer Richtung, der Südpol desſelben aber nach der entgegengeſetzten Richtung zu rotiren ſtrebe. Daß bei den vorhergehenden Verſuchen dieſe Rotation nicht eintrat, kann daher kommen, daß der Magnet ſich nicht frei bewegen konnte, und ſeine zwei Pole eine entgegengeſetzte Bewegung einſchlagen wollten. Ob dieſe Vermuthung richtig ſey, wird man erfahren, wenn man einen electriſchen Strom nur auf einen Pol eines freien Magnetes wirken läßt. Dieſes kann man erreichen, wenn man ein Gefäß A, Fig. 345, mit Queckſilber füllt, in dieſes Queckſilber durch einen verticalen Draht B C einen electriſchen Strom leitet, ſo, daß er längs der Oberfläche desſelben abfließt, endlich in das Queckſilber ein Magnetſtäbchen D gibt, welches darin durch eine angehängte Platinmaſſe in verticaler Lage ſchwimmend erhalten wird. So wie der electriſche Strom beginnt, fängt auch der Magnet an, ſich um den Polardraht zu bewegen nach einer Richtung, die ſich nach der vorhergehenden Regel (381) vollkommen richtig beſtimmen läßt. Hieraus iſt leicht zu errathen, daß ſich auch ein beweglicher Polardraht um einen Magnet bewegen wird. Man kann dieſes zeigen, wenn man in ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß A, Fig. 346, einen leicht beweglichen Draht B C vertical herabhängen läßt, und in der Mitte des Gefäßes einen verticalen Magnetſtab anbringt, oder auch durch dasſelbe einen Stab D E von weichem Eiſen gehen läßt, dem man mittelſt eines, an ſeinem aus dem Gefäße hervorſtehenden untern Theile E angelegten Magnetes Magnetismus ertheilt, wobei man den Vortheil hat, die Pole leicht wechſeln zu können. Der untere Theil dieſes Drahtes reicht bloß mit der Spitze an das Queckſilber, und wird durch ein kleines Glaskügelchen gehindert den Magnet zu berühren. Sobald man einen electriſchen Strom durch den Draht in das Queckſilber gehen läßt, fängt das Umkreiſen des Polardrahtes an, und dauert fort, ſo lange der Strom anhält. So wie der magnetiſche Pol geändert wird, oder die mit dem Pole der Säule verbundenen Drähte verwechſelt werden, ändert ſich auch die Richtung der kreiſenden Bewegung. Dieſen Verſuch hat Faraday zuerſt angeſtellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt ſich auf mannigfaltige Weiſe abändern Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf der Magnetſtange angebracht iſt, ſtellen, und eines oder beide ſeiner Enden in ein Queckſilbergefäß abwärts biegen; man kann ſogar um jeden Pol eines hufeiſenförmigen Magnetes einen ſolchen Polardraht anbringen, und zugleich eine Bewegung um beide

Pole erzeugen. Barlow hat an einem gabelförmig ausgeſchnittenen Polardrahte U (Fig. 347) ein ſternförmiges Rädchen angebracht, deſſen Spitzen in Queckſilber reichten, und deſſen Ebene ſich zwiſchen den Schenkeln eines hufeiſenförmigen Magnetes befand. Dieſes Rädchen wird durch den electriſchen Strom mit ungemeiner Geſchwindigkeit umgedreht. Man verſehe eine Holzſcheibe A B (Fig. 348), welche zwiſchen die zwei Schenkel eines Hufeiſenmagnetes paßt, mit einer kreisförmigen Rinne, die in der Richtung eines Durchmeſſers durch iſolirende Scheidewände in zwei Hälften getheilt iſt, ferner umwickle man ein Eiſenſtäbchen, das etwas kürzer iſt als der Durchmeſſer obiger Scheibe, mit Kupferdraht, der durch einen Seidenüberzug iſolirt iſt, und gebe ihm eine ſolche Einrichtung, daß es ſich um eine auf der Scheibe ſenkrechte Axe bewegen könne, und dabei die beiden Drahtenden in die genannte Rinne hineinreichen. Wird nun die Scheibe zwiſchen den aufrecht ſtehenden Schenkeln des Magnetes befeſtiget, die Rinne mit Queckſilber gefüllt, ſo daß deſſen Oberfläche etwas über die Scheidewand hervorreicht, jedoch ohne dieſelbe zu bedecken, der Magnet auf ſeine Drehungsaxe gebracht, ſo daß die zwei Drahtenden das Queckſilber berühren, und ein electriſcher Strom durch das Queckſilber und den um das Eiſenſtäbchen gewundenen Draht geleitet; ſo beginnt dieſer Stab, der nun ſelbſt ein Magnet iſt, deſſen Pole bei jeder Umdrehung zweimal wechſeln, um ſeine Axe zu rotiren. Dieſen Apparat hat Ritchie angegeben. Statt des Electromagnetes kann man auch ein kupfernes um eine Axe bewegliches Rechteck brauchen, deſſen Enden in das Queckſilber der Rinne reichen. Richtet man einen cylindriſchen Magnet V ſo ein, daß er ſich um ſeine eigene verticale Axe bewegen kann, und leitet einen electriſchen Strom durch ihn, der nur auf einen ſeiner Pole wirket; ſo beginnt dieſer ſich ſchnell um die genannte Axe zu drehen. Davy hat ſelbſt an flüſſigen Leitern, z. B. am Queckſilber, an geſchmolzenem Zinn deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente ſich dazu eines Gefäßes, durch deſſen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum, bis auf ihre oberſte Fläche mit Siegellack überzogen waren. Wurde Queckſilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drähte deckte, und durch ſie eine mächtige Volta'ſche Säule entladen; ſo erhob ſich das Queckſilber über den Drähten in kegelförmiger Geſtalt und ſchlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einen jener Drähte angebracht, ſo ſenkte ſich der Kegel, verſchwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz, und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Queckſilber fing um denſelben Pol zu rotiren an. (Schweigg. J. 40. 332.) Nach Fechner kann man eine Flüſſigkeit durch folgende Vorrichtung in eine electromagnetiſche Rotation verſetzen: Man ſtelle auf den Pol eines aufrechtſtehenden Magnetes eine Kupferſchale von 4—5 Zoll Durchmeſſer, die in der Mitte aufwärts gedrückt iſt, um in dieſer Stellung ruhig zu verharren. Auf dieſen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring, und gieße mit einer Salmiaklöſung gemiſchte Salzſäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein electriſcher Strom erregt werde, der durch die Flüſſigkeit geht. Letztere beginnt nun beſonders ſchnell am Zinkringe zu rotiren, und nimmt ſelbſt hineingelegte Papierſtückchen mit. (Schweigg. J. 55. 15.) Ritchie hat denſelben Zweck auf eine andere Weiſe erreicht. (Pogg. Ann. 27. 552.)

387. Es läßt ſich auch durch das Aufeinanderwirken zweier electriſchen Ströme ein Rotiren hervorbringen. Um dieſes einzuſehen, denke man ſich einen nach a b (Fig. 349), und einen zweiten nach einer auf a b ſenkrechten Richtung c d gerichteten electriſchen Strom.

Nach dem früher (385) ausgeſprochenen Geſetze ſtoßen ſich die nach a c und c d gerichteten Ströme ab, die nach c b und c d gerichteten hingegen ziehen ſich an, und es würde der Polardraht a b nach a b fortſchreiten, wenn es möglich wäre, ihm nach dieſer Richtung die nöthige Beweglichkeit zu verſchaffen. Iſt aber der Polardraht a b drehbar, ſo wird dieſes Fortſchreiten in eine Rotation übergehen. Umwickelt man daher ein Glasgefäß VV (Fig. 350) mit einem durch einen Seidenüberzug iſolirten Kupferſtreifen; ſo kann dieſer dem Polardrahte a b in Fig. 349 um ſo mehr ſubſtituirt werden, da er zugleich als Multiplicator wirkt, und den Effect des electriſchen Stromes, welcher durch ihn geleitet wird, ſteigert. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtſtück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt, ſo daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile beſteht, wie a b c d, dasſelbe unten mit einem kreisförmigen Kupferſtreifen verſieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich ſtellt, und in dieſes Gefäß ſäuerliches Waſſer gibt, das den Kupferdraht berührt. Leitet man nun einen electriſchen Strom ſo, daß er in dem verticalen Stifte aufſteigt, an deſſen Ende in zwei Theilen gegen b und c geht, hierauf abwärts durch b a und c d in den Ring fließt, von dieſem in das ſäuerliche Waſſer gelangt, hierauf in den Multiplicator übergeht, und endlich zum negativen Pole der Volta'ſchen Säule gelangt (oder eine gerade entgegengeſetzte Richtung nimmt); ſo beginnt alſogleich das Rotiren des Stückes a b c d und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Multiplicator entgegengeſetzt iſt. Man erhält auch ein Rotiren des Polardrahtes, wenn man den Multiplicator wegläßt. Ampére ſchreibt dieſes dem Erdmagnetismus zu, und, wie es ſcheint, mit Recht, da deſſen Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpole abwärts gekehrten Magnetſtabes gleich ſeyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Munke in Gehler's Wörterb. 3. 589). Zwei in ſich zurücklaufende (geſchloſſene) Leiter ſind zwar der Theorie nach in einer beſtimmten Lage in ſtabilem Gleichgewichte, und können daher durch wechſelſeitige Anziehung keine Rotation hervorbringen; allein, wenn man während der Action den Volta'ſchen Strom umkehrt, ſo kommt eine ſolche Rotation zu Stande.

Um letzteres Phänomen hervorzubringen, vertauſche man in dem Ritchie'ſchen Apparate nicht nur den Electromagnet mit dem vorher erwähnten beweglichen Rechtecke aus Kupferdraht, ſondern erſetze auch den Hufeiſenmagnet mit einem anderen ähnlichen Rechtecke, das über erſterem feſt ſteht, und leite durch beide Rechtecke einen electriſchen Strom. Stehen im Augenblicke des Stromeintrittes beide Rechtecke nicht parallel über einander, ſo werden die Ströme dieſen Parallelismus herzuſtellen ſuchen und ſo ein Rotiren bewirken.

388. Die zu den bisher erwähnten electro-magnetiſchen Verſuchen nöthigen Inſtrumente kann man entweder ſo conſtruiren, daß jedes einen ſelbſtſtändigen mit einer eigenen Baſis verſehenen Apparat

abgibt, oder man kann einen allgemeinen electro-magnetiſchen Apparat bauen, von welchem die bisher genannten Inſtrumente Beſtandtheile ſind. Einen ſolchen Apparat ſtellt Fig. 351 dar. AB iſt ein 18 Zoll langes, 9 Zoll breites, mit Stellſchrauben zum Horizontalſtellen verſehenes Bret, das mit zwei verticalen hölzernen Säulen C und D verſehen iſt, durch deren jede der ganzen Länge nach ein Kupferdrath geht, der oben etwa 1 Z. weit hervorragt, und in eine federnde Hülſe EF von demſelben Metall auslauft. Von den kleinen Vertiefungen GH gehen offene oder verdeckte Drahtleitungen aus, deren die eine von G nach a, die andere von H nach b geht. Ga ſchließt ſich leitend an den Drath D, Hb an C. Eine kreisrunde, etwa 1 Z. unter die Oberfläche des Bretes reichende Vertiefung K ſteht mit G in leitender Verbindung. Aus ihrer Mitte erhebt ſich ein oben pfannenartig endendes Metallſtück M. Beim Gebrauche werden GHK mit Queckſilber gefüllt, und die mit löfelförmigen Pfannen verſehenen Drähte LM in die Hülſen EF geſteckt. Dieſe Pfannen dienen zur Aufnahme eines geradlinigen Leiters, der zur Ablenkung der Magnetnadel beſtimmt iſt, oder des Leiters O, der durch den Erdmagnetismus gerichtet werden ſoll. Derſelbe Leiter kann auch in verticaler Lage in die Pfanne M und L zu ſtehen kommen, und dasſelbe kann mit dem Conductor O geſchehen. Die Gabel zum Barlow'ſchen Rädchen läßt ſich in L anbringen, das Rädchen ſelbſt kann in das Queckſilber der Vertiefung K tauchen. Der verticale um ſeine Axe rotirende Magnet kann oben in L, unten in M ſpielen. Erſetzt man M durch einen Magnetſtab, und hängt in L das Faraday'ſche Pendel auf, ſo kann man auch den Polardraht um den Magnet rotiren ſehen ꝛc.

389. Wenn man das Verhalten zweier electriſchen Ströme gegen einander mit dem zweier Magnete vergleicht; ſo ſieht man bald, daß zwiſchen beiden eine völlige Uebereinſtimmung herrſche. Dieſes iſt der Grund, warum Ampère alle magnetiſchen Erſcheinungen ſtatt ſie, wie es früher geſchah, von einem eigenen Fluidum abzuleiten, auf electriſche Ströme reducirt, und annimmt, ein Magnet ſey ein Körper, deſſen kleinſten Theile von parallelen electriſchen Strömen, die auf der Axe ſenkrecht ſtehen, umfloſſen werde. Dieſem nach ziehen ſich zwei ungleichnamige Magnetpole an, und zwei gleichnamige ſtoßen ſich ab, weil aus der Totalaction ſolcher Syſteme nach dem oben 385 angeführten Geſetze, wie die Rechnung lehrt, dieſe Wirkungen entſpringen. Auch die Wirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet läßt ſich auf dieſem Wege nachweiſen. Offenbar iſt dieſelbe zunächſt das Reſultat der Action jedes Theilchens des electriſchen Stromes auf die Pole des Magnetes. Allein es zeigt ſich hier, daß dieſe Action nicht nach der geraden Linie erfolgt, welche das Theilchen mit den Polen verbindet, ſondern ſenkrecht gegen die Ebene, welche die Richtung des Theilchens und den Pol in ſich enthält, und nach entgegengeſetzten Richtungen für beide Pole. Die Größe der Kraft ſelbſt iſt der Intenſität des Stromes und des Magnetismus, ferner dem Sinus des Winkels, den die Richtung des Stromtheilchens mit

der Geraden macht, die von ihm zum Pole geht, endlich dem reciproken Quadrate der Länge dieſer Geraden proportionirt. Hieraus ſchließt Ampère, daß die Wirkung eines Stromtheilchens auf ein magnetiſches Element nicht als eine einfache, ſondern als eine zuſammengeſetzte Action zu betrachten ſey, da alle Kräfte, welche die Natur uns bisher dargeboten hat, längs der Geraden wirken, welche die Theilchen, von denen die Kräfte ausgehen, mit einander verbinden. Die Erde ſelbſt hat nach Ampères Anſicht ihre magnetiſche Kraft von electriſchen Strömen, welche von Oſt nach Weſt gerichtet ſind, mithin dem ſcheinbaren Lauf der Sonne folgen. Das Magnetiſiren des Eiſens bringt die ſchon früher in demſelben vorhandenen Ströme auf parallele und gleiche Richtungen, und das, was man Coercitivkraft nennt, iſt der Widerſtand, den die Ströme eines Körpers einer Kraft entgegengeſetzen, welche ihre Richtung zu ändern ſucht. So viel übrigens dieſe Anſicht gegen jene eines magnetiſchen Fluidums voraus hat; ſo gibt ſie uns doch über das innere Weſen des Magnetismus nicht ſo viel Aufſchluß, wie z. B. die Vibrationshypotheſe über die Natur des Lichtes, und es iſt noch gar viel zu thun, bis man es in dieſer Lehre eben ſo weit wie in der Optik gebracht hat. Ueber Electro-Magnetismus ſiehe: *Oersted Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae* 1820. Pfaff, der Electro-Magnetismus, eine hiſtoriſch-kritiſche Darſtellung der bisherigen Entdeckungen ꝛc. Hamburg 1824. Darſtellung der neuen Entdeckungen über die Electricität und den Magnetismus, durch Ampère und Babinet. Leipzig. 1822. v. Althaus über den Electro-Magnetismus. Heidelberg 1821. Handbuch der dynamiſchen Electricität von Demonferrand. Leipzig 1824. Fechner's Elementarbuch des Electro-Magnetismus. Leipzig 1830. Reichhaltig ſind über dieſen Gegenſtand: Gilb. Ann. vom B. 66 und Schweigg. J. vom B. 29 angefangen. Ueber allgemeine electro-magnetiſche Apparate ſiehe: Gilb. Ann. 67. 113. Zeitſch. 1. 200, vorzüglich Schweigg. J. 46. 1. Kaſt. Arch. 13. 49; 14. 273; Pogg. Ann. 28. 586. Sehr vollſtändig handelt über Electro-Magnetismus Gehler's Wörterbuch 3. 473—647.

390. Daß die im Gleichgewichte befindliche Electricität in einem nahen Leiter eine electriſche Spannung erzeugt, war längſt bekannt; nun weiß man aber auch, daß bewegte Electricität in einem nahen Leiter einen inducirten Strom hervorbringt. Dieſer Strom iſt, ſo wie jene Spannung, dem primären entgegengeſetzt, findet aber nur in dem Momente Statt, wo der erregende Strom zu wirken anfängt, und erneuert ſich, aber wieder nur momentan und in einer dem erſteren ſecundären Strome entgegengeſetzten, mithin in einer mit dem erregenden übereinſtimmenden Richtung, dann wieder, wenn jene Einwirkung aufhört. Zwiſchen dem erſten und zweiten ſecundären Strome befindet ſich wohl der Leiter in einem beſonderen (electrotoniſchen) Zuſtande, den man aber bis jetzt nicht weiter kennt. Aus dem Geſagten iſt klar, daß man einen ſecundären electriſchen Strom erzeugen kann,

wenn man zwei Leiter neben einander anbringt (jedoch ohne daß ſie ſich berühren), einen derſelben mit einer thätigen Electricitätsquelle in Verbindung ſetzt, und dann dieſe Verbindung wieder aufhebt, oder auch, indem man einen Leiter dem Polardrahte einer thätigen Electricitätsquelle ſchnell nähert, und ihn hierauf wieder entfernt.

391. Ein ſecundärer electriſcher Strom bringt alle jene Wirkungen hervor, die ein primärer von derſelben Stärke und Richtung erzeugt; er bewirkt Zuckungen an Froſchſchenkeln, erregt den eigenthümlichen Geſchmack auf der Zunge, die Lichterſcheinung vor dem Auge, und lenkt eine Magnetnadel ab, ja gerade dieſe Wirkungen ſind es, aus deren Eintreten Faraday auf das Stattfinden ſolcher Ströme ſchloß. Zur Erregung eines ſolchen Stromes braucht man beſondere Vorrichtungen, nämlich einen maſſiven mit iſolirtem Kupferdrahte ſchraubenförmig umwickelten Cylinder A (Fig. 352), und einen anderen, hohlen, B, in deſſen Höhlung jener paßt, und der an beiden Enden mit vorſtehenden Rändern verſehen iſt, um das Herabgleiten der vielfach über einander liegenden Drahtwindungen zu verhindern. Schiebt man den Cylinder A in den Cylinder B, und bringt die beiden Drahtenden des letzteren mit den Froſchſchenkeln oder mit der Zunge oder mit den Drähten eines Multiplicators in Verbindung, den des Cylinders A mit den Polen einer Volta'ſchen Säule; ſo treten Zuckungen, Lichtphänomene oder eine Ablenkung der Magnetnadel ein, in dem Augenblicke, wo man die Verbindung mit dem Electromotor hergeſtellt oder wieder aufgehoben, zum Beweiſe, daß in beiden Fällen ein electriſcher Strom in B Statt gefunden habe. Die Ablenkung der Magnetnadel gibt insbeſondere von der Richtung und Stärke dieſes Stromes genaue Rechenſchaft, und es zeigt die Richtung ihrer Ablenkung beim Schließen dieſer Kette, daß der ſecundäre Strom dem primären entgegengeſetzt ſey, ihr ſchnelles in Ruhe kommen, daß der ſecundäre Strom nur momentan war, ihre abermalige Ablenkung beim Oeffnen der Kette, daß abermals ein ſecundärer Strom Statt gefunden, und die Größe und Richtung derſelben, daß dieſer dem erſteren der Richtung nach entgegengeſetzt, der Größe nach aber gleich ſey. Verbindet man die Drähte des Cylinders B ſtatt mit einem Multiplicator mit den Enden eines anderen Drahtes, der ſpiralförmig um eine Glasröhre geht, in welcher ſich eine Stahlnadel befindet, ſetzt den Cylinder A mit dem Electromotor in Verbindung, und zieht die Nadel zurück, bevor dieſe Verbindung aufgehoben wird, ſo findet man die Nadel magnetiſch. Wird aber dieſe Verbindung aufgehoben, ſo lange ſich die Nadel noch in der Glasröhre befindet, ſo zeigt dieſe keinen, oder doch nur einen ſehr geringen Magnetismus, zum Beweiſe, daß die Wirkung des erſteren Stromes durch jene des zweiten ganz oder zum Theile aufgehoben worden ſey. Da, wo die Nadel noch einige magnetiſche Kraft erübriget, entſpricht dieſe der Richtung des erſteren Stromes. Man darf aber darum nicht auf eine größere Intenſität dieſes Stromes im Vergleiche zum nachfolgenden ſchließen;

denn ein Magnet braucht zur Umkehrung ſeiner Pole einen ſtärkeren Strom als zur urſprünglichen Erzeugung desſelben.

392. Da ein Magnet bei den electro-magnetiſchen Wirkungen die Electricität in Bewegung ſo glücklich vertreten kann; ſo glaubte Faraday, den wir überhaupt als den Entdecker dieſer Folge von Erſcheinungen betrachten müſſen, auch hier den primären Strom durch einen Magnet erſetzen zu können. Der Erfolg entſprach ſeiner Erwartung vollkommen, und man erhielt nicht bloß die vorerwähnten Wirkungen des ſecundären Stromes, ſondern bei zweckmäßiger Unterbrechung der Leiter ſogar Funken und Wirkungen auf das Electroſkop. Werden die Drähte des Cylinders B mit dem Schenkel eines Froſches, mit der Zunge oder mit einem Multiplicator leitend verbunden, ſo tritt alſogleich am Froſchſchenkel eine Zuckung, an der Zunge der eigenthümliche Geſchmack, und am Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel ein, wenn man einen Magnetſtab in die Spirale ſchiebt, zum Beweiſe, daß der Magnet einen electriſchen Strom erregt habe, und dasſelbe findet Statt, wenn der Magnet aus der Höhlung des Cylinders B gezogen wird. Die Richtung der Ablenkung der Magnetnadel zeigt, daß der ſecundäre electriſche Strom beim Einſchieben des Magnetes jenem entgegengeſetzt, beim Ausziehen hingegen, mit jenem übereinſtimmend ſey, den man der Ampère'ſchen Theorie zu Folge im Magnete vorausſetzen muß. Jede Bewegung des Magnetes, wodurch derſelbe in die Spirale hineingeſchoben oder aus derſelben zurückgezogen wird, äußert ſich durch einen neuen, wiewohl nur ſchwachen Strom. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man zu dieſen Verſuchen ſtatt eines ſelbſtſtändigen Magnetes einen Electromagnet brauchen kann, ſo daß alſo der elect. Strom Magnetismus erzeugt, und dieſer wieder einen ſecundären Strom hervorruft. Selbſt ſecundäre Magnete ſind zu derlei Verſuchen brauchbar. Umwickelt man den Anker eines Magnetes mit einem iſolirten Kupferſtreifen (Fig. 353) oder einer Drahtſpirale, ſo treten die Zeichen eines ſecundären elect. Stromes an dieſem Drahte oder dem Kupferſtreifen ein, ſobald man den Anker an den Magnet bringt, und ihn dadurch zum ſecundären Magnet macht, oder indem man ihn von demſelben zurückzieht; ja gerade dadurch erhält man am leichteſten Funken und Wirkungen auf ein empfindliches Electroſkop. Endlich kann auch der Erdmagnetismus inducirende Wirkungen hervorbringen. Wird ein ſchraubenförmig gewundener Kupferdraht an beiden Enden mittelſt biegſamer Leiter mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden und in verticale Lage gebracht; ſo zeigt ſich jedesmal, wenn man die Spirale ſchnell in die entgegengeſetzte Lage bringt, ein electriſcher Strom. Die Stärke der inducirenden Wirkung eines Magnetes iſt von der Weite der Windungen, der Drahtſpirale und von der Dicke und Subſtanz des Drahtes ganz unabhängig, ſie wächſt aber mit der Anzahl dieſer Windungen bis zu einer beſtimmten Grenze, über welche hinaus eine weitere Vermehrung derſelben keine Steigerung der inducirenden Kraft mehr hervorbringt; doch liegt dieſe Grenze bei längeren Ankern, dickeren Drähten und

engeren Windungen weiter heraus, als bei kürzeren Leitern, dünneren Drähten und weiteren Windungen. Die ſecundären electriſchen Ströme treten in einem Polardrahte zugleich mit den primären ein, und zwar beim Schließen der Kette in entgegengeſetzter, beim Oeffnen derſelben in übereinſtimmender Richtung, und daher kommt es, daß ſie ſich im erſteren Falle ſchwächen, im letzteren verſtärken. Hieraus erklärt es ſich, warum ein langer Leitungsdraht, beſonders wenn er ſpiralförmig gewunden iſt, ſelbſt ſchon mittelſt eines einzigen Plattenpaares beim Oeffnen der Kette Zuckungen des menſchlichen Körpers hervorbringt, beim Schließen derſelben aber nicht, und es wird begreiflich, wie ein in der Spirale liegendes Eiſenſtäbchen dieſe Wirkung noch mehr verſtärken könne, und warum das Vorlegen eines Ankers die Wirkung eines Magnetes ſo ſehr ſchwächt. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 142. 161; 34. 292; Ritchie ebend. 29. 464; 31. 203; Lenz ebend. 31. 483; 34. 385; Magnus ebend. 38. 417.)

393. Wenn man einen langen ſpiralförmig gewundenen Leiter einem Magnete ſchnell hinter einander nähert und wieder davon entfernt, ſo erhält man mit jeder dieſer Bewegungen einen inducirten Strom, und je zwei auf einander folgende Ströme dieſer Art ſind einander entgegengeſetzt, wenn man nicht durch eine beſondere Vorrichtung, Commutator, Inverſor oder Gyrotrop genannt, in dem Augenblicke, wo der Strom ſeine Richtung ändern will, die Leiter ſo verſetzt, daß dadurch der Strom wieder umgekehrt wird, und ſo eine doppelte Umkehrung deſſelben eintritt. Ein ſolches ſchnelles Aufeinanderfolgen mehrerer, wenn auch einzeln ſchwacher Ströme kann die Wirkung derſelben ausnehmend verſtärken, nicht bloß weil dadurch die Summe der einzelnen Ströme in einer beſtimmten Zeit größer wird ſondern auch, weil ſchnell auf einander folgende Ströme ſich gegenſeitig verſtärken. (La Rive in Pogg. Ann. 41. 152; 45. 163.) Ein recht ſchnelles Aufeinanderfolgen mehrerer Ströme erhält man am beſten mittelſt der ſogenannten magneto-electriſchen Rotationsmaſchine. Dieſe beſteht im Weſentlichen aus einem ſtarken Hufeiſenmagnet, in deſſen Nähe, und zwar ſenkrecht darauf oder in ſeiner Verlängerung ſich ein um eine Axe beweglicher, auch hufeiſenförmig gebogener Anker von ſehr weichem Eiſen befindet, deſſen beide Schenkel mit mehreren Lagen iſolirten Kupferdrahtes umwunden ſind. Zu gewiſſen Zwecken, wo es ſich nämlich um Intenſitätserſcheinungen handelt, geht derſelbe Draht, nachdem er einen Ankerſchenkel mehrfach umwunden hat, in entgegengeſetzter Richtung um den zweiten; zu anderen hingegen, wo man nämlich Quantitätsphänomene erhalten will, hat man für jeden Schenkel des Ankers einen beſonderen, und zwar einen dickeren Draht, zuletzt aber vereinigen ſich die entſprechenden Enden beider Drähte mit einander. Dieſe Drahtenden können nun mittelſt verſchiedener Leiter verbunden und dadurch die Kette geſchloſſen werden, zu welchem Behufe man wieder beſondere Einrichtungen dieſes Apparates anwendet. Dreht man nun mittelſt einer eigens dazu beſtimmten Schnurmaſchine den Anker in der Nähe des Magnetes, ſo

wird jeder Ankerſchenkel beim Annähern an einen Magnetpol ſelbſt zu einem Magnet, und verliert dieſe Kraft wieder, wenn er ſich von dieſem Pole entfernt. Dieſer vorübergehende Magnetismus wirkt aber inducirend auf den Kupferdraht, und ſo kommt es, daß bei einer vollen Umdrehung des Ankers in dem Drahte vier, von Null bis zu einer beſtimmten Größe wachſende und wieder auf Null herabſinkende Ströme entſtehen, von denen zwei auf einander folgende einerlei, die zwei nächſten entgegengeſetzte Richtungen haben. Meiſtens ſind derlei Maſchinen ſo eingerichtet, daß man von den auf einander folgenden Strömen die zwei entgegengeſetzten durch Oeffnen der Kette in dem Augenblicke, wo ſie eintreten ſollen, wegläßt. Man erhält auf dieſe Art zwar mehr intermittirende Ströme aber von conſtanter Richtung, welches z. B. bei chemiſchen Wirkungen, wo man die Zerſetzungsproducte rein erhalten will, von beſonderem Belange iſt. Mittelſt eines ſolchen Apparates kann man alle Phänomene inducirter Ströme leicht und in beſonderer Stärke hervorbringen, ſo daß man ihn füglich mit einer Electriſirmaſchine und einer Volta'ſchen Säule in eine Categorie ſetzen kann. Er gibt kaum erträgliche Stöße, liefert Funken wie die ſtärkſte Volta'ſche Batterie, erzeugt chemiſche Wirkungen, Glüherſcheinungen und electro-dynamiſche Phänomene. Merkwürdig iſt die Wirkung der hier auftretenden Ströme auf eine Magnetnadel. Verbindet man nämlich die beiden Enden des Intenſitätsleiters mit einem Multiplicator, ſo ſollte man glauben, es köne keine Ablenkung der Magnetnadel eintreten, weil gleich ſtarke, einander entgegengeſetzte Ströme ſchnell auf einander folgen; allein die Erfahrung lehrt, daß die Nadel um 90° von ihrer natürlichen Richtung abgelenkt wird, und zwar immer nach der Seite, nach welcher ſie ſchon vor der Einwirkung der elect. Ströme einen kleinen Ausſchlag hatte, ohne daß darauf die eigentliche Richtung der Rotation oder die Geſchwindigkeit derſelben einen Einfluß ausübte. Uebrigens ſchließt ſich dieſes Verhalten gut an die bekannten Geſetze des Electromagnetismus an; denn ein electriſcher Strom magnetiſirt eine Nadel immer ſo, daß ſie dadurch eine Richtung anzunehmen ſucht, wie jene iſt, nach welcher ſie derſelbe Strom ablenkt; von zwei auf einander folgenden Strömen wird darum durch einen bereits vor dem Eintritte derſelben vorhandenen Ausſchlag die Wirkung desjenigen verſtärkt, der dieſelbe Ablenkung hervorzubringen ſucht. Poggendorff in deſſen Ann. 45. 353. Ueber magnetiſche Rotationsapparate ſiehe: Pogg. Ann. 27. 390, 398; 39. 401. Bericht über die Verſammlung deutſcher Naturforſcher und Aerzte in Prag (Prag 1838). Einen Commutator beſchreibt Jacobi in: *Mém. sur l'application de l'electro-magnétisme au mouvement des machines. Potsdam* 1835.; Pohl's Gyrotrop in Pogg. Ann. 34. 185, 500; Ritchie ebend. 32. 539; Gehler's phyſ. Wörterbuch Bd. 9, Abth. 1, S. 121.

Man kann auch durch den Strom eines Volta'ſchen Elementes eine Reihe ſchnell auf einander folgender inducirter Ströme erzeugen, indem man den primären Strom durch das Barlow'ſche Rädchen oder die Rit-

chie'ſche Rotationsmaſchine und zugleich durch eine ſtarke Drahtſpirale gehen läßt, welche mit einer zweiten in Verbindung ſteht, worin der inducirte Strom auftreten ſoll. Da nämlich der Strom des Elementes in dem Augenblicke aufhört, wo beim Gebrauche des Barlow'ſchen Rädchens ein Zahn desſelben aus dem Queckſilber tritt, ohne daß der zweite bereits darein getaucht wäre, und beim Gebrauche des Ritchie'ſchen Rotationsapparates in dem Momente, wo die Enden der Drahtſpirale von einer Abtheilung des Queckſilbergefäßes in die andere übertreten; ſo muß dieſes beſtändige Unterbrochenwerden des primären Stromes nothwendig zur Erzeugung inducirter Ströme dienen. (Ueber einen Apparat zur Erzeugung inducirter Ströme in getrennten Leitern ſiehe Dove in Pogg. Ann. 43. 511; Neef's Blitzrad ebend. 36. 352; desſelben Magnetelectromotor 46. 104; Dal Negro in Zeitſch. 1. 145; *Memorie ed osservazioni del Cav. L. Nobili. Firenze* 1834.)

394. Die inducirende Kraft bewegter Magnete gibt zu ſehr intereſſanten Erſcheinungen Anlaß. Man winde einen langen mit Seide überſponnenen Metalldraht (am beſten von Silber oder von feinem Kupfer) in Form einer Schraube, und ſchiebe ihn über einen Pol einer ſchweren, ſehr empfindlich aufgehängten Magnetnadel, ſo daß dieſe in kleinen Bögen ſchwingen kann, ohne die Spirale zu berühren. Man thue dasſelbe mit einem gleichen zweiten Draht und einer zweiten Magnetnadel, die ſo weit von der erſten entfernt iſt, daß keine directe Einwirkung zwiſchen ihnen Statt finden kann. Setzt man nun die erſte in Schwingungen, ſo wird dadurch die zweite nicht im mindeſten afficirt, ſo lange nicht die Enden der beiden Drähte, welche die Spiralen bilden, mit einander ſo verbunden ſind, daß ſie eine ununterbrochene Kette bilden. So wie aber dieſe Verbindung hergeſtellt iſt, und man die eine Magnetnadel in Schwingungen verſetzt, geräth auch die andere in Oſcillationen von gleicher Elongation, ſo daß ſich auf ſolche Weiſe die in einem Orte erregten Oſcillationen mit derſelben Amplitude in die größten Fernen fortpflanzen laſſen. (Magnetiſcher Telegraph; Steinheil's höchſt ſinnreiches Inſtrument dieſer Art. Ueber Telegraphie, insbeſondere durch galv. Kräfte von Steinheil. München 1838.) Nimmt man die eine Magnetnadel weg, ohne an der anderen etwas zu ändern, ſo geräth letztere auch in Bewegung, ſo wie man mit dem Pole eines Magnetes in die Nähe der Spirale, am beſten in dieſelbe hineinfährt. Es iſt nicht ſchwer, dieſes aus den bereits angeführten Geſetzen der electriſchen Induction zu erklären. Dieſe Wirkung eines bewegten Magnetes auf einen Metallkörper zeigt ſich noch directer dadurch, daß man eine Metallſcheibe (am beſten aus Kupfer) mittelſt eines feinen Fadens ſehr beweglich aufhängt, und unter derſelben einen Hufeiſenmagnet in verticaler Stellung in ſchnelle rotirende Bewegung ſetzt. Da kommt alſobald auch die Kupferſcheibe nach derſelben Richtung in Bewegung. Es kann auch umgekehrt ein beweglicher Körper einen Magnet in Bewegung ſetzen; dieſes iſt der Fall an einer Magnetnadel, die ſich frei ſchwebend über einer ſchnell rotirenden Kupferſcheibe befindet. Bei einer mäßigen Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe wird der Magnet nach der Richtung der Rota-

tion abgelenkt, und verharrt unter einem gewiſſen Ablenkungswinkel, ſo lange die Geſchwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt; dieſe Ablenkung wird aber deſto größer, je ſchneller man die Scheibe dreht und endlich fängt der Magnet ſelbſt zu rotiren an. Man kann ſogar die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels oder durch die Zeit einer Rotation des Magnetes meſſen. Endlich kann die inducirende Kraft eines Magnetes auf ihn ſelbſt wie ein Hinderniß der Bewegung wirken. Arago machte im Jahre 1825 die Entdeckung, daß ſich der Schwingungsbogen einer horizontalſchwingenden Magnetnadel über einer darunter befindlichen Kupferſcheibe ſehr ſchnell vermindert, und die Nadel viel eher zur Ruhe gebracht wird, als in Ermanglung einer ſolchen Unterlage. Aehnliches erfolgte, wenn die Nadel über einem anderen Metalle, ja in geringem Maße ſogar, wenn ſie über Glas, Waſſer, Holz, oſcillirte.

Chriſtie hat zuerſt bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oſcillirenden Magnetnadel, ſo wie eine nahe Kupferſcheibe verminderc, und dieſes einem magnetiſchen Einfluſſe des Lichtes zugeſchrieben. Allein dieſe Wirkung iſt wenigſtens nicht ganz magnetiſcher Natur, und wird höchſt wahrſcheinlich größtentheils bloß durch aufſteigende Luftſtröme bewirkt. (Zeitſch. 3. 96 u. 157; 6. 325.) Die Verminderung des Schwingungsbogens einer unter dem Einfluß eines Metalles oſcillirenden Magnetnadel, rührt theils vom Luftwiderſtande, theils von jenem Einfluſſe her. Um beide Wirkungen von einander zu ſondern, ſey N die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in Gegenwart des einwirkenden Körpers machen muß, damit ihr Schwingungsbogen um m Grade abnimmt, n dieſelbe Größe, wenn die Nadel ohne Einwirkung jenes Körpers oſcillirt, und die Abnahme des Schwingungsbogens bloß vom Widerſtande des Mittels herrührt. Da iſt offenbar $\frac{m\,n}{N}$ die Anzahl Schwingungen, welche nöthig iſt, damit der äußere Einfluß ohne Widerſtand des Mittels der Schwingungsbogen um m° vermindert, mithin $m - \frac{m\,n}{N} = m\left(\frac{N-n}{N}\right)$ die Verminderung des Schwingungsbogens, welche während der n Schwingungen durch jenen Einfluß allein hervorgebracht wird; durch dieſen Einfluß allein hätte der Schwingungsbogen nach $\frac{N\,n}{N-n}$ Schwingungen (gefunden aus der Proportion $m\left(\frac{N-n}{N}\right) : n = m : x$) um die Größe m abgenommen.

395. Die Geſchwindigkeit der Rotation iſt nicht das einzige Element, wovon die Größe der Einwirkung eines bewegten Körpers auf einen Magnet abhängt. Ein ſtarker Magnet wird durch dieſelbe Scheibe ſtärker abgelenkt, als ein ſchwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung iſt ein gewiſſes Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferſcheibe nothwendig. Ein ſehr kleiner Magnet wird durch eine ſehr große Scheibe ſo wenig merklich afficirt, als ein großer Magnet durch eine ſehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt iſt, deſto geringer iſt ihre Einwirkung, ſie

nimmt aber in einem größeren Verhältniſſe ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächſt. Körper, die zwiſchen den Magnet und die Kupferſcheibe gebracht werden, ſchwächen die Wirkung, wenn ſie ſelbſt eine ſolche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eiſenplatte hebt dieſe Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. laſſen ſie ungeſchwächt durch. Vorzüglich ſchwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmaſſe. Eine ſternförmig ausgeſchnittene Kupferſcheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine maſſive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt ſehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zuſammenlöthet. Ein ſpiralförmig gewundener Stab wirkt ſchwächer, als eine Scheibe von demſelben Durchmeſſer und von derſelben Maſſe. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich ſchwächer, als in einer zuſammenhängenden Maſſe. Eine hart gehämmerte Platte wirkt ſtärker als eine ausgeglühte, doch ſoll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieſelben Geſetze zeigen ſich in Betreff des Einfluſſes einer Kupferplatte auf eine oſcillirende Magnetnadel.

Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verzögerte ſich in der Nähe einer 2 L. dicken Kupferſcheibe nach 7, in der Nähe einer 0.8 L. dicken nach 11 Schwingungen um eben ſo viel. Eine Platte, die den Ausſchlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte dasſelbe erſt nach 10 Schw., wenn ſie entzweigeſchnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, deſſen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schw. von 20° auf 10° herabſank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelſt eines elaſtiſchen Fadens ſeine Oſcillationen beſchleuniget wurden. — Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu ſchätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit rotirt, um einen gewiſſen Winkel abzulenken.

396. Es iſt klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kupferſcheibe von einer Kraft herrühren müſſe, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Dieſe iſt aber nicht die einzige, welche von einer ſolchen Scheibe ausgeht; ſondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe ſenkrecht ſteht, die andere mit derſelben parallel iſt. Die erſtere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abſtoßend, und zeigt ſich, wenn man einen Magnetſtab vertical auf eine Wage hängt, ihn daſelbſt ins Gleichgewicht ſetzt, und unter ihm eine Kupferſcheibe rotiren läßt; denn da wird alſogleich das Gleichgewicht geſtört, und die Seite, wo der Magnet aufgehängt iſt, erſcheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb desſelben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewiſſen Kreis hinaus, wo ſie gleich Null iſt, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man ſich mittelſt einer Inclinationsnadel. Stellt man dieſe ſo über die Scheibe, daß ſie eine

verticale Richtung annimmt, ſetzt dann die Scheibe in Bewegung; ſo wird ſie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichſam vom Centrum abgeſtoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical, und noch weiter einwärts wird ſie endlich vom Centrum gleichſam angezogen. Das Verhältniß dieſer drei Kräfte zu einander ändert ſich mit der Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe.

397. So ſehr man auch auf den erſten Blick erkennt, daß dieſe Erſcheinungen durch inducirende Wirkung der Magnete zu erklären ſeyen, ſo darf man ſich doch der Verpflichtung nicht entſchlagen, das wirkliche Daſeyn inducirter Ströme nach der den Phänomenen angemeſſenen Richtung nachzuweiſen. Zu dieſem Ende ſtelle man eine Kupferſcheibe M (Fig. 354), welche um die Axe a beweglich iſt, ſo zwiſchen die zwei Pole n und s eines Hufeiſenmagnetes, daß der Rand noch unter den Polebenen ſteht, und ſowohl dieſer Rand (welcher zu dieſem Ende amalgamirt iſt), als auch die Axe mit einem Multiplicator verbunden, hierauf aber die Scheibe ſchnell gedreht wird. Da zeigt die Nadel des Multiplicators eine bleibende Ablenkung. Daſſelbe tritt in gleicher Ordnung und Stärke ein, wenn man die Scheibe ſo weit hebt, daß ihr Rand in die Ebene der Pole fällt, oder gar über dieſelbe hervorragt. Aendert man die Richtung der Rotation, ſo weicht auch die Nadel nach entgegengeſetzter Richtung aus. Daſſelbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnetes verwechſelt, aber die Richtung der Rotation beibehalten wird. Auch wenn man nicht die genau zwiſchen den Polen befindliche Stelle des Randes, ſondern eine 50—60° davon abſtehende mit dem Multiplicator in Verbindung ſetzt, erfolgt eine Ablenkung, ſie wird aber immer ſchwächer, je weiter der Verbindungsdraht von der Polebene abweicht. Wenn man die Scheibe nur einem Magnetpole gegen über ſtellt, treten dieſelben Wirkungen ein, nur in einem etwas geringeren Grade, und man kann aus der Richtung der Ablenkung der Nadel den Schluß ziehen, daß, wenn ſich die Scheibe horizontal und ſchraubenrecht dreht, und der Nordpol eines Magnetes über derſelben ſteht, der erregte elect. Strom vom Centrum der Scheibe beim Magnetpole vorbei, zum Umkreiſe derſelben geht, und in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Platte zurückkehrt. Fig. 355 ſtellt ſolche Ströme mittelſt der punktirten Linien dar. Bei einer horizontalen, rechts gedrehten Kupferſcheibe bac (Fig. 356), über welcher ſich eine horizontal ſchwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole n und s zu thun. Erſterer erzeugt in der ihm entſprechenden Scheibenhälfte einen Strom, der vom Centrum a zum Umkreiſe b, letzterer einen ſolchen, der vom Umkreiſe c nach a geht; mithin entſteht durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, der von c nach b gerichtet iſt. Fig. 357 ſtellt dieſe Ströme vor. Von dieſen hängt nun die tangentielle Ablenkung einer Magnetnadel durch eine rotirende Kupferſcheibe ab. Daß alle Wirkung aufhört, wenn keine Rotation mehr Statt findet, iſt klar, denn nun gibt es keinen ſecundären elect. Strom mehr, auch der große Einfluß

der Continuität der Maſſe auf derlei Phänomene iſt leicht begreiflich. Die in einer rotirenden Kupferſcheibe erregten Ströme haben ihre Wirkungsmittelpunkte n und s zu beiden Seiten des wirkſamen Magnetpoles. Da die elect. Vertheilung nothwendig da, wo ſie zu Ende geht, ſtärker ſeyn muß, als da, wo ſie gerade anfängt, weil jene mit der ganzen Summe der Kräfte wirkt, welche die Platte durch den Magnetpol erhalten hat; ſo hat die Reſultante aller Ströme eine ſchiefe Richtung gegen den Magnetpol, und der vertical aufwärts wirkende Theil dieſer Kraft muß den Magnetpol abſtoßen. Die Lage der Wirkungsmittelpunkte n und s richtet ſich natürlich nach der Lage der Projection des Magnetpoles auf der rotirenden Platte. Rückt dieſer Pol gegen das Centrum der Platte, ſo bewegen ſich auch n und s dahin, und es wird nach Maßgabe dieſer Annäherung des Poles n an das Centrum der Platte die Vertheilung mehr oder weniger über dieſes Centrum hinausrücken, und die Kraft der ſecundären Ströme wird den Magnetpol, wenn derſelbe nahe am Centrum liegt, zu demſelben hinziehen, liegt er aber nahe am Umfange, von demſelben abſtoßen. Was von einer Kupferſcheibe geſagt wurde, gilt auch von Scheiben aus anderen Metallen und guten E Leitern, allein die Einwirkung ſchlechter Leiter, z. B. des Glaſes, Holzes und ſelbſt der Gaſe, iſt noch nicht mit voller Klarheit aus den bekannten Geſetzen der magneto-electriſchen Vertheilung erklärbar. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 120; Nobili in Zeitſch. n. F. 1. 93; Pogg. Ann. 26. 401.)

398. Da ſich ein inducirter Strom mit geringer Mühe bei gleicher Stärke erhalten läßt, ſo eignet er ſich beſonders zu Unterſuchungen über die Leitfähigkeit der Metalle. Windet man nämlich Drähte aus den zu unterſuchenden Metallen von gleicher Länge und Dicke zu völlig gleichen Spiralen, und ſchiebt je zwei derſelben auf einen eiſernen Anker, während ihre Enden mit einem Multiplicator ſo verbunden ſind, daß die zwei Spiralen beim Abziehen vom Anker entgegengeſetzte Ströme geben; ſo wird man aus dem Ausſchlage der Nadel erkennen, welche Spirale das Uebergewicht über die andere hat, und welcher Draht daher die größere Leitfähigkeit beſitzt. Allein weil der Multiplicatordraht auch mit zur Kette gehört, und daher deſſen Leitfähigkeit auch zur Stromſtärke beiträgt, ſo muß man auch auf dieſen Rückſicht nehmen, wenn es ſich darum handelt, von je zwei Metallen nicht bloß den beſſeren Leiter zu ermitteln, ſondern auch deren Leitkraft numeriſch zu vergleichen. Um einzuſehen, wie man ſolche Reſultate erhalten könne, bedenke man, daß die Einwirkung eines inducirten Stromes auf eine Magnetnadel nahe momentan ſey, mithin wie die eines Stoßes berechnet werden könne, den man durch die dem geſtoßenen Körper mitgetheilte Geſchwindigkeit mißt. Wird demnach eine Magnetnadel durch die Kraft eines Stromes um den Winkel α abgelenkt, ſo kann man annehmen, ſie habe durch den Impuls desſelben jene Geſchwindigkeit erlangt, welche ihr durch Bewegung von der beſagten Richtung bis zur Gleichgewichtslage zu Theil werden würde, und die man durch $\sqrt{2p\,\mathit{sin\,vers}\,\alpha}$ ausdrücken kann, wobei p

eine conſtante Größe bezeichnet. Setzt man aber $2\sqrt{p} = \frac{1}{q}$, und bedenkt, daß $\mathit{sin\,vers}\,\alpha = 2\,\mathit{sin}^2 \frac{1}{2}\alpha$ iſt, ſo wird der Ausdruck dieſer Geſchwindigkeit $= \frac{1}{q} . \mathit{sin} \frac{1}{2} \alpha$, und dieſe mißt demnach den inducirten Strom, welcher die Ablenkung α erzeugt. Iſt x die abſolute Kraft des Stromes, l der Leitungswiderſtand (reciproke Werth der Leitkraft) der Spirale, L jener des Multiplicators, ſo hat jener Strom die Stärke $\frac{x}{L+l}$, und es iſt demnach $\frac{x}{L+l} = \frac{1}{q} \mathit{sin} \frac{1}{2} \alpha$, oder $\mathit{sin} \frac{1}{2} \alpha = \frac{qx}{L+l}$. Man ſetze den Leitungswiderſtand in einer Kupferſpirale $= 1$, jenen eines anderen Metalles, z. B. des Eiſens $= m$, und beobachte die Ablenkung α und β der Multiplicatornadel durch denſelben Strom, wenn er durch die Kupfer- und wenn er durch die Eiſenſpirale geht. Da iſt nun für Kupfer $\mathit{sin} \frac{1}{2} \alpha = \frac{qx}{L+l}$, für Eiſen $\mathit{sin} \frac{1}{2} \beta = \frac{qx}{L+\frac{1}{m}}$, und aus beiden demnach m zu finden, wenn nur L bekannt iſt. Wenn man zwiſchen den Multiplicator und der Spirale verſchieden lange, oder verſchieden dicke oder endlich verſchieden warme Drahtſtücke derſelben Natur einſchaltet, und jedesmal die Ablenkung der Magnetnadel beobachtet, ſo erfährt man den Einfluß der Länge, Dicke und Temperatur der Drähte auf ihre Leitfähigkeit.

399. Da man die Beſtimmung der Leitfähigkeit der Körper für Electricität ſchon längſt für ſehr wichtig hielt, lange bevor man inducirte Ströme kannte; ſo hat man auch verſchiedene Wege eingeſchlagen, um dieſe Größe zu finden, jedoch ohne zu ſo brauchbaren Reſultaten zu gelangen, wie durch die eben beſagte Methode. Man benützte nämlich zu dieſem Ende die Größe der Erhitzung eines Drahtes durch den Strom einer Volta'ſchen Säule (Priſtley und Harris), oder durch die Länge des durch einen beſtimmten Strom geſchmolzenen Drahtes (van Marum), oder durch die Anzahl der Plattenpaare, deren Strom durch einen Draht vollkommen entladen wird (Davy), oder durch die Größe der Ablenkung der Magnetnadel, die ein beſtimmter Strom hervorbringt, wenn er durch verſchiedene Drähte geleitet wird (Becquerel, Barlow, Marianini, Ohm). Letztere Methode, bei weitem die Beſte unter allen ſo eben aufgezählten, wurde auch zur Beſtimmung der Leitkraft von Flüſſigkeiten benützt, indem man den Strom eines Volta'ſchen Elementes durch verſchiedene Flüſſigkeiten führte. Wenn man die Leitkraft eines feſten oder flüſſigen Körpers mittelſt eines Volta'ſchen Elementes oder einer Volta'ſchen Säule dadurch zu beſtimmen ſucht, daß man den betreffenden Leiter wechſelt, und jedesmal die Stromſtärke beſtimmt, ſo darf man dabei

nicht vergeſſen, daß nicht alle vorhandenen Leitungswiderſtände im beſagten Leiter Statt finden, ſondern daß deren auch in den Erregern ſelbſt vorhanden ſeyen, die bei den verſchiedenen Verſuchsreihen, wo man verſchiedene Leiter gebraucht hat, conſtant geblieben ſind. Soll die beim Wechſel des betreffenden Leiters Statt gefundene Stromveränderung auf das Geſetz der Leitungswiderſtände richtig ſchließen laſſen, ſo muß man die ganze Kette in einen Leiter von der Natur des zu unterſuchenden Körpers verwandeln, und dieſen mit der jedesmaligen Stromſtärke vergleichen, wobei man die Vorausſetzung machen kann, daß der Leitungswiderſtand mit der Länge des Leiters im geraden Verhältniſſe ſtehe. Die wahre Länge der Kette iſt die Länge des Schließungsdrahtes, vermehrt um die reducirte Länge des Elementes.

Um den Gang einer ſolchen Unterſuchung zu zeigen, dazu mag ein von Pouillet angeſtellter Verſuch dienen. Dieſer Gelehrte leitete den electriſchen Strom einer Zinkkupferplatte direct und ohne einen Zwiſchenleiter anzuwenden, durch einen unmittelbar auf eine Magnetnadel wirkenden Kupferſtreifen, und beſtimmte die Stromſtärke. Hierauf ſchaltete er Kupferdrähte von gleicher Dicke aber verſchiedener Länge ein, und nahm für jeden einzelnen Fall die Beſtimmung der Stromſtärke abermals vor. Dieſe betrug, da wo kein Draht zugefügt war, 2.100, hingegen nachdem man nach der Reihe Drähte von 1, 2, 4, 8, 16 Meter Länge eingeſchaltet hatte, nach der Ordnung 0.707, 0.445, 0.243, 0.132, 0.064. Heißt nun die Drahtlänge, welche das Element in Bezug auf Leitungswiderſtand erſetzt, $= x$, ſo iſt

$$\frac{x}{x+1} = \frac{707}{2100} \text{ oder } x = 0.52; \quad \frac{x}{x+2} = \frac{445}{2100} \text{ oder } x = 0.54;$$

$$\frac{x}{x+4} = \frac{243}{2100} \text{ oder } x = 0.53; \quad \frac{x}{x+8} = \frac{132}{2100} \text{ oder } x = 0.53;$$

$$\frac{x}{x+16} = \frac{64}{2100} \text{ oder } x = 0.54,$$

mithin im Durchſchnitte $x = 0.52$. Man hat es daher bei den Verſuchen mit einer Kette von der Länge 0.52, 1.52, 2.52, 4.52, 8.52 und 16.52 zu thun. (Pouillet in *compt. rendus* 4. 267 oder Pogg. Ann. 42. 281.)

400. Aus den bisher angeſtellten Unterſuchungen über die Leitfähigkeit haben ſich folgende Reſultate ergeben: 1) Die Leitfähigkeit eines Körpers ſteht im geraden Verhältniſſe mit der Stärke der zu leitenden Electricität. 2) Die Leitfähigkeit eines Metalles iſt ohne Vergleich größer als die des beſten flüſſigen Leiters. Charakteriſtiſch iſt es für die Metalle, daß ſie die E leiten, ohne zerſetzbar zu ſeyn, während die meiſten anderen Körper vom geleiteten Strome zerſetzt werden. 3) Die Leitfähigkeit eines Metalldrahtes ſteht im verkehrten Verhältniſſe ſeiner Länge und im directen ſeines Querſchnittes. 5) Die Leitfähigkeit wird durch die Temperaturerhöhung in einigen Körpern, wie z. B. in Metallen, geſchwächt, in anderen, wie z. B. Schwefelſilber, verſtärkt, doch iſt dieſe Schwächung in verſchiedenen Metallen verſchieden, und ſcheint nur bis zu einer beſtimmten Temperatur zu gehen, über welche hinaus jede weitere Steigerung der Tempera-

tur die Leitfähigkeit wieder erhöht. Aus dieſen Geſetzen erklärt man mehrere überraſchende Erſcheinungen, z. B. warum man eine Volta'ſche Säule leichter iſolirt als den Conductor einer nur etwas kräftigen Electriſirmaſchine; warum ein Zinkkupferelement im Waſſer eine Spannung zeigt, wie in der Luft, warum ein langer Polardraht von einer ſehr gut leitenden Maſſe bei derſelben Säule keine ſtärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Maſſe; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen electriſchen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur ſchwach glühender Draht alſogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geſchmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Electricität nicht mehr iſoliren ꝛc. Ob es für urſprünglich gleiche aber von verſchiedenen Quellen kommende Ströme in demſelben Leiter verſchiedene Widerſtände gebe, und daher in dem electriſchen Strome ähnliche Unterſchiede Statt finden, wie in den Strahlen des Lichtes und der Wärme, iſt nicht ausgemacht, aber durch mehrere Erſcheinungen angedeutet. (La Rive in *Ann. de Chim.* 37. 286; Pogg. Ann. 37. 235.)

Die numeriſchen Daten, welche man bei Unterſuchungen über das electriſche Leitvermögen verſchiedener Körper fand, ſind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93.60; Silber = 73.60; Zink = 28.50; Platin = 16.40: Eiſen = 15.80; Zinn = 15.50; Blei = 8.30; Queckſilber = 3.45; Kalium = 1.33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderſtand der Säule Rückſicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57.4; Silber = 35.6; Zink = 33.3; Meſſing = 28.0; Eiſen = 17.4; Platin = 17.1; Zinn = 16.8; Blei = 9.7. Nach Davy: Silber = 109.1; Kupfer = 100; Gold = 72.7; Blei = 69.1; Platin = 18.2; Palladium = 16.4; Eiſen = 14.6. Nach Lenz: Kupfer bei 0° C. = 100.00, bei 100° C. = 73.00, bei 200° C. = 54.82; Silber bei 0° = 136.25, bei 100° = 94.45, bei 200° = 68.72; Gold bei 0° = 79.79, bei 100° = 65.20, bei 200° = 54.49; Zinn bei 0° = 30.84, bei 100° = 20.44, bei 200° = 14.78; Meſſing bei 0° = 29.33, bei 100° = 24.78, bei 200° = 21.45; Eiſen bei 0° = 17.74, bei 100° = 10.87, bei 200° = 7.00; Blei bei 0° = 14.62, bei 100° = 9 6, bei 200° = 6.76; Platin bei 0° = 14 16, bei 100° = 10.93, bei 200° = 9.02. Das Minimum der Leitkraft findet Statt im Silber bei 310°.05 R. mit 59.00, in Kupfer bei 359°.00 mit 43.70, in Gold bei 349°.10 mit 50.06, in Zinn bei 269°.2 mit 13.64, in Meſſing bei 421°.50 mit 18.46, in Eiſen bei 278°.80 mit 6.01, in Blei bei 282°.6 mit 6.02, in Platin bei 295°.3 mit 8.41, jene des Kupfers bei 0° mit 100.00 angenommen. (Becquerel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend. 44. 245 46; 137. Davy in Gilb. Ann. 71. 251. Faraday in Pogg. Ann. 31. 225. Lenz ebend. 34. 418; 45. 105.) Marianini drückt das Leitvermögen der folgenden Salzlöſungen (in 100 Th. Waſſer) ſo aus, wie es die beigeſetzten Zahlen bezeichnen: Salzſ. Platin 418, Salpeterſäure 358, ſalzſ. Gold 307, ſalp. Silber 298, ſaures, ſalpeterſ. Queckſilberprotoxyd 278, ſchwefelſ. Kupfer 258, Schwefelſäure 239, Sauerkleeſäure 179, Salzſäure 164, eſſigſ. Kupfer 154, Salmiak 150, ſauerkleeſ. Kali 149, ſalzſ. Eiſenammoniak 136, Phosphorſ. mit phosphoriger-Säure 127, ſalzſ. Kalk 110, Weinſteinſäure 98.66, weinſteinſ. Kali 92, Eſſigſäure 87, Citronenſäure 85.71, Alaun 85, ſalzſ. Natrum 84.79, ſchwefelſ. Kali 80, Salpeter 78.3, benzoeſ. Kali 76.56,

Glauberſalz 74.2, melanſaures Ammoniak 71.15, Benzoeſäure 70.67, kohlenſ. Natrum 69.2, neutral, chlorſ. Kali 68.9, Kalibicarbon. 66.7, eſſigſ. Natrum 64.9, ſchwefelſ. Magneſia 62.64, ſaures weinſteinſ. Kali 62.4, Eiſenvitriol 62.26, ſalzſ. Baryt 60, eſſigſ. Kali 59.2, ſalpeterſ. Kali 57, ſalzſ. Eiſenoxydul 56.53, Kali 55.68, chlorſ. Baryt 53.23, ſchwefelſ. Zink 51 64, Brechweinſtein 50.7, phosphorſaures Natrum 46, Borax 45,31, phosphorſ. Kali 44.74, Natrum 32.6, Aetzammoniak 26 45, Blauſäure 18.27, eiſenblauſ. Natrum 10.96, deſtill. Waſſer 1.00, Alkohol 0.323. Nach Förſtemann: Salzſäure 2.464, Eſſigſäure 2.398, Salpeterſäure 2.283, Ammoniak 2.177, Schwefelſäure 1.737, Kalilauge 1.709, Kochſalzlöſung 1.672, Bleizuckerlöſung 1.560, Meerwaſſer 1.000. Nach Pfaff: Verdünnte Salzſäure, ſalzſ. Platin, ſalzſ. Eiſenoxyd, verdünnte Salpeterſäure, Salmiak, ſalpeterſ. Silber, conc. engl. Schwefelſäure, ſalpeterſ. Queckſilberoxyd, engliſche Schwefelſäure mit 4 Th. Waſſer, ſtarker Weineſſig, verdünnte Phosphorſäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, ſalzſ. Zinnoxydul, Weinſteinſäure, Ammoniak (0.980), kleeſ. Kali, ſalpeterſ. Blei, Eiſenvitriol, eſſigſ. Kali, kohlenſ. Kali und Natrum, ſalzſ. Mangan, weinſteinſ. Kali, benzoeſ. Kali, Borax, Brechweinſtein, eſſigſaures Natrum, ſchwefelſ. Mangen, chlorſ. Kali, ſchwefelſ. Natrum, ſalzſ. Blei, eſſigſ. Blei, deſtill. Waſſer. (Marianini in Schweigg. J. 49. 22; 284, Förſtemann in Kaſt. Arch. 6. 82.)

Siebentes Kapitel.

Nähere Erörterung der Mittel Electricität zu erregen.

401. Das am längſten bekannte Mittel E zu erregen, iſt die Reibung. So verſchieden auch die ſich reibenden Körper ſeyn mögen, ſo erhält doch jedesmal einer derſelben +E, der andere —E, in einem Grade, welcher durch mehrere bekannte Umſtände, aber auch durch einige uns unbekannte Urſachen beſtimmt wird. Gute Leiter geben beim Reiben leichter einen electriſchen Strom, als eine Spannung, weil ſich die entwickelten E in dem Augenblicke, wo die Reibung aufhört oder auch nur nachläßt, neutraliſiren, und daher nicht zu einer leicht und ohne Condenſation bemerkbaren Spannung anwachſen. In ſolchen Fällen bedient man ſich demnach zur Prüfung der Beſchaffenheit und Größe des erregten electriſchen Zuſtandes eines Multiplicators. Iſt einer der ſich reibenden Körper ein guter, der andere ein ſchlechter E Leiter, ſo läßt ſich die E leicht zu einer namhaften Spannung bringen, und durch Electroſkope mit oder ohne Condenſator wahrnehmen.

402. Die Menge der durch Reiben erregten Electricität hängt von der Natur der ſich reibenden Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Geſchwindigkeit des Reibens und der dabei Statt findende Druck ſind wenigſtens beim Reiben des Glaſes ohne Einfluß. Schon die ſchwächſte Reibung erzeugt bemerkbare E. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig beim Fallen durch die Luft electriſch; der aus einem beſtaubten Buche, beim Zuſammenſchlagen desſelben erregte Staub

macht ſchon die Goldplättchen eines Electroſkops divergiren. Die hygroſkopiſche Beſchaffenheit der geriebenen Oberfläche iſt der E Entwicklung hinderlich, darum taugen auch weiche (meiſt waſſerziehende) Gläſer zu Electriſirſcheiben nicht gut, und bei feuchtem Wetter, wo ſelbſt hartes Glas mit einer dünnen Waſſerſchichte überzogen iſt, wirken ſelbſt gut eingerichtete Maſchinen ſchlecht; darum hilft das Abwiſchen mit warmen Tüchern ſo ſehr. Die Größe der ſich reibenden Flächen iſt nicht ohne Einfluß auf die E Entwicklung, doch iſt es kaum möglich, gar große Flächen vollkommen mit einander in Berührung zu bringen. Wo man aber dieſes nicht erreicht, da hat man an den von der Berührung ausgeſchloſſenen Stellen nicht bloß Punkte, die keine E geben, ſondern ſolche, welche die Verbindung der zwei bereits entwickelten E begünſtigen. (Peclet in *Ann. de Chim.* 57 337.)

403. Reibt man zwei Metallplatten auf einander, ſo hängt die Beſchaffenheit der E jeder Platte von der Natur derſelben ab. In der Reihe: Antimon, Arſenik, Cadmium, Eiſen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth iſt immer das vorhergehende poſitiv, das nachfolgende negativ electriſch. Die Beſchaffenheit der Oberfläche, die Geſtalt der ſich reibenden Flächen, hat auf die Richtung des ſo erregten electriſchen Stromes keinen Einfluß, nur das mechaniſche Zertheilen der Maſſe ſtört dieſe Ordnung, und der zertheilte Körper hat in der Regel eine Neigung negativ zu werden; es gibt aber doch Fälle, wo er poſitiv iſt, ja gepulvertes Antimon iſt ſogar gegen eine Antimonplatte poſitiv. Metalloryde und Sulphuride ſind in der Regel gegen ihre Metalle negativ. Die Wärme ändert oft die Beſchaffenheit der Reibungselectricität. (Becquerel in *Ann. de Chim.* 47. 116; La Rive in Pogg. Ann. 37. 225 und 506.)

Kupferfeile iſt negativ gegen Platten von Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Wismuth, Antimon; mit Platin Gold und Silber wird ſie gar nicht electriſch; Zinkfeile aber iſt bei der Lufttemperatur poſitiv gegen Platin, Gold, Silber, Kupfer und Zinn.

404. Für ſchlechte E Leiter läßt ſich nicht leicht eine Reihe finden, wie die vorher angeführte, weil die Beſchaffenheit der durch Reibung ſolcher Körper erregten E nicht bloß von der Natur, ſondern auch von der Beſchaffenheit der Oberfläche dieſer Körper mächtig abhängt. Der Diſthen nimmt ſogar +E oder —E an, je nachdem man eine oder die andere ſeiner Fläche mit Seide reibt. Im Allgemeinen hat es den Anſchein, als wenn jener Körper die größte Neigung für —E hätte, deſſen Theile am meiſten aus ihren natürlichen Lage gebracht werden. Wenigſtens erklärt es ſich daraus, warum von zwei Seidenbändern, die über Kreuz gerieben werden, das nach der Länge der Faſern bewegte poſitiv, das quer bewegte negativ electriſch wird; warum die Wärme die Körper geneigt macht, negativ electriſch zu werden; warum Seide ſchnell in der Luft bewegt, poſitiv und daher die Luft ſelbſt negativ electriſch wird. Cavallo hat es verſucht, die Körper in Bezug auf die Beſchaffenheit der von ihnen er=

regten Reibungselectricität zu ordnen, und ſie in folgende Reihe, vom electro-poſitivſten angefangen, zuſammengeſtellt: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

405. Der innere Grund der E Entwicklung durch Reibung iſt völlig unbekannt. Die beim Reiben entwickelte Wärme ſcheint nicht zugleich die Quelle der E zu ſeyn, weil letztere nicht in dem Maſſe reichlicher entwickelt wird, in welchem ſich die Temperatur beim Reiben ſteigert. Der Umſtand, daß ſich beim Reiben ein eigenthümlicher Geruch verbreitet, und daß das Amalgam auf den Reibzeugen der E Maſchinen ein ſehr leicht oxydirbarer Körper ſeyn muß, führt zwar auf die Vermuthung, die Reibung leite einen chemiſchen Proceß ein, und dieſer ſey die eigentliche Quelle der E. Allein es iſt nicht erwieſen, daß jener Geruch mit der E Entwicklung in nothwendiger Verbindung ſtehe, ja Davy's Verſuche, bei welchen ſich ergab, daß eine kleine Electriſirmaſchine in Waſſerſtoffgas, in kohlenſaurem Gas ꝛc. E entwickle, und in letzterem ſogar mehr als in atm. Luft, iſt dieſer Anſicht ſogar entgegen. Das Wahrſcheinlichſte iſt, daß die durch Reibung erzeugte Molecularbewegung die erſte Quelle der E ſey.

406. Ein anderes Erregungsmittel der E iſt die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Phyſiker hierüber Verſuche angeſtellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich electriſch werden. Insbeſondere fand dieſe Eigenſchaft Haüy in einem hohen Grade an kleinen Doppelſpathen. In dieſen kann man durch bloßen Druck zwiſchen den Fingern + E erregen. Eben ſo hat Libes bemerkt, daß eine iſolirte Metallſcheibe — E erhält, wenn man ſie an gefirnißten Taffet andrückt. Deſſaignes hat dieſe Verſuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck electriſch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Unterſuchungen die wichtige Wahrheit völlig ſicher geſtellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen electriſchen Zuſtand verſetzt werden kann. Becquerel verfertigte aus dem zu unterſuchenden Körper ein Scheibchen, befeſtigte es mittelſt Siegellack an ein Glasſtäbchen, das zur Vermeidung der Electriſirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe verſehen war, überzeugte ſich zuerſt, daß hieran gar keine freie E hafte, und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben ſo befeſtigtes, iſolirtes oder an einen anderen beliebigen Körper. Verſuche, die er auf dieſe Weiſe mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Cautſchouk, Orangeſchalen, Stärkmehl, Doppelſpath, Gips, Flußſpath, Schwerſpath, mit mehreren Metallen und ſelbſt mit eingedickten Flüſſigkeiten angeſtellt hat, lehrten, daß die an einander gedrückten Körper, wenn ſie iſolirt ſind, entgegengeſetzte Electricitäten zeigen, iſt aber nur einer davon iſolirt, ſo gibt zwar dieſer immer Spuren freier E, aber am anderen ſind die der entgegengeſetzten nur dann merklich, wenn er ein ſchlechter Leiter iſt. Welcher von beiden poſitiv oder negativ electriſch

wird, ſcheint vom Verhältniſſe ihrer Elaſticität abzuhängen. Die Menge der E wird durch die Natur der zuſammengedrückten Körper, durch die Leitfähigkeit, Temperatur und Beſchaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe beſtimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel ſtärker electriſch als Kalkſpath. Körper, die ſich ſtark adhäriren, geben mehr Electricität als ſolche, die dieſes nur in einem geringen Grade thun. Bei denſelben Körpern und einem mäßigen Drucke iſt die entwickelte Electricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt, ſobald auch die Berührungsflächen in dieſem Verhältniſſe wachſen. Je geringer die Leitfähigkeit der zuſammengedrückten Körper iſt, deſto größer wird die Menge der frei gewordenen Electricität bei übrigens gleichen Umſtänden. Drückt man einen guten und einen ſchlechten Leiter an derſelben Stelle mehrere Male hinter einander mit veränderter Stärke zuſammen, ſo findet man bei der Trennung eine Electricität von ſolcher Stärke, wie ſie dem ſtärkſten Drucke entſpricht. Bei guten Leitern vereinigen ſich die entgegengeſetzten Electricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man kann nur durch eine ſehr ſchnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Electricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen iſt, deſto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie E wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Electricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältniſſe ſtehen. Dieſes bemerkt man beſonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenſcheibe zuſammendrückt, und ſie bald ſchneller bald langſamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Electricitätserregung beweiſet der Umſtand, daß zwei Korkſcheiben, die man durch Entzweiſchneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo ſie durch einen Druck keine electriſche Ladung annehmen, ſich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, ſobald eines dieſer Stücke erwärmt wird. Daſſelbe zeigen zwei Doppelſpathe. Läßt man aber den Druck ſo lange anhalten, bis beide Körper wieder dieſelbe Temperatur angenommen haben, ſo wird man ſie ohne die geringſte Spur der E von einander trennen. Der Feuchtigkeitszuſtand modificirt die Menge der frei gewordenen E bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerſpath, Gips, Glimmer u. ſ. w. immer dann nach dem Drucke merkliche E zeigen, wenn ſie früher abgetrocknet wurden. Die Beſchaffenheit der Oberfläche hat in ſo weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als ſie die Leitfähigkeit ändert. So wird z. B. der ſonſt ſchlecht leitende Doppelſpath ein guter Leiter der E, wenn man ihm ſeine Politur benimmt, und behält dann nur im iſolirten Zuſtande ſeine Electricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12. 174.)

407. An die Electricitätserregung durch Druck ſchließt ſich unmittelbar die durch **Trennung** der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das geſpalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerſtoßen daſſelbe. Daß dieſes electriſchen Urſprunges ſey, erkennt man daraus, daß, wenn man an einem Glim-

merplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an iſolirte Handgriffe befeſtiget und mit dieſen die Trennung vollendet, dieſe Blätter ſich merklich electriſch zeigen. So wie Glimmer verhalten ſich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen kryſtalliſirten Körper, wenn ſie rein geſpalten, nicht zerriſſen oder gebrochen werden; doch geſchieht dieſes nicht beim Spalten nach jedem, ſondern nur nach einem beſtimmten Blätterdurchgange. So z. B. erſcheinen Theilungsſtücke eines Topaſes nur dann electriſch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe ſenkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Das Electriſiren durch Spalten iſt dem durch Drücken ſehr ähnlich. Denn wird z. B. ein Glimmerblatt geſpalten und dann jeder der zwei Theile durch Berühren mit der Hand ſeiner Electricität beraubt, dann aber wieder zuſammengedrückt; ſo findet man ſie wieder nach dem Auseinandernehmen eben ſo electriſch wie nach der urſprünglichen Trennung (Pogg. 12. 150). Nach Dumas zeigt Borſäure, die in einem Platintiegel geſchmolzen worden iſt, hierauf aber feſt wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man ſelbſt bei Tage bemerken kann. In einer Bewegung, wie ſie bei der Trennung der Körpertheile Statt hat, ſcheint auch das Electriſchwerden vibrirender Platten ſeinen Grund zu haben. (*Compt. rendu* 6. 48. Pogg. Ann. 43. 187.)

408. Weil der electriſche Strom chemiſche Wirkungen erzeugt, ſo iſt es ſchon darum wahrſcheinlich, daß chemiſche Proceſſe, die ohne Einfluß der E vor ſich gehen, mit E Entwicklungen verbunden ſeyen, und die Richtigkeit dieſer Vermuthung wird durch folgende Erfahrungen beſtätiget: Verbindet man zwei völlig gleiche Gold- oder Platinplättchen mit einem Multiplicator und taucht ſie dann, entweder beide zugleich oder eines nach dem anderen, in Salpeterſäure; ſo bleibt die Magnetnadel ruhig, zum Beweiſe, daß durch das Eintauchen kein electriſcher Strom erregt worden ſey. Nimmt man aber ſtatt Gold oder Platin oxydirbare Metallplatten, z. B. von Kupfer oder Zink, und taucht zuerſt die eine, dann die andere in die Säure, ſo tritt alſogleich ein electriſcher Strom ein, aus deſſen Richtung man erkennt, daß das zuerſt eingetauchte, alſo der ſtärkeren chemiſchen Einwirkung ausgeſetzte Plättchen negativ electriſch geworden ſey. Dasſelbe erfolgt, wenn man Platin- oder Goldplättchen gleichzeitig in Salpeterſäure taucht und dann in die Nähe des einen einen Tropfen Salzſäure gießt, die Königswaſſer erzeugt, wodurch das Metall chemiſch angegriffen wird. Der Erfahrung zu Folge wird das angegriffene Metall ſtets negativ, die Flüſſigkeit poſitiv electriſch. Selbſt bei nicht metalliſchen Körpern wirkt die chemiſche Action auf gleiche Weiſe, und es erſcheint Holz, Wachs, Leim, Zucker ꝛc. in ſtarker Schwefelſäure negativ, die Säure poſitiv electriſch. Beſonders iſt dieſe E des angegriffenen Körpers bemerklich, wenn die Flüſſigkeit gleich nach der Einwirkung verdampft. Gibt man in ein Gefäß eine Säure, in ein anderes ein Alkali und verbindet beide mit einander durch einen in Waſſer getränkten

Asbeſtfaden, nachdem man in jedes dieſer Gefäße ein Ende eines Multiplicators getaucht hat; ſo tritt alſogleich eine Ablenkung der Magnetnadel ein, als Alkali und Säure durch Aufſaugen in dem Asbeſtfaden ſich berühren und ſich chemiſch zu verbinden anfangen. Dabei zeigt ſich die Säurre poſitiv, das Alkali negativ electriſch. Der Satz, daß bei chemiſchen Verbindungen einer Säure mit einem Alkali erſtere poſitiv, letzteres negativ electriſch werde, gilt in ſeiner ganzen Allgemeinheit, ſelbſt in Bezug auf den relativen und erweiterten Begriff einer Säure (I. 67). So z. B. wird Waſſer, wenn es ſich mit einer Säure verbindet, mithin die Rolle einer Baſis ſpielt, negativ; wenn es mit Alkali oder einem Oxyde eine chemiſche Verbindung eingeht, wo es als Säure wirkt, poſitiv electriſch, gerade ſo, wie obige Regel ſagt. Von zwei ungleich geſättigten Salzlöſungen wird bei der chemiſchen Vereinigung derſelben ſtets die ſtärkere poſitiv, die ſchwächere negativ. Gegenſeitige Zerſetzungen von Neutralſalzen geben keine E. Man kann annehmen, daß beim Verbrennen der Sauerſtoff (Zündſtoff) die Rolle einer Säure, der Brennſtoff jene einer Baſis ſpiele, und in der That erſcheint nach Pouillet's Verſuchen das Verbrennungsproduct poſitiv, der Brennſtoff negativ electriſch. (*Traité expérimental de l'electricité et du magnétisme par M. Becquerel. Paris* 1834. 2. 245; La Rive in Pogg. Ann. 37. 506.)

Pouillet ſtellte einen Kohlencylinder, in leitender Verbindung mit der Erde, unter die Bodenplatte eines Condenſators und zündete ihn an. Die aufſteigende Säule von Kohlenſäuregas zeigte ſich poſitiv electriſch. Wurde dieſer Cylinder auf die obere Platte des Condenſators geſtellt und das Brennen durch einen Luftſtrom unterſtützt; ſo zeigte ſich der Cylinder negativ electriſch. Bei derlei Verſuchen muß man wohl bedenken, daß auch die Temperaturänderung E erzeugen kann. Bei Experimenten über E Entwicklung durch chemiſche Wirkung, bei denen man die freie E in ihrer Spannung erkennen will, hat man wohl zu bedenken, daß die Größe dieſer Spannung mitunter auch von der Leitungsfähigkeit der betreffenden Subſtanzen abhängt. Daher iſt es oft von Nutzen, eine der beiden E in die Erde abzuleiten, um der anderen mehr Freiheit zu verſchaffen. Die Wichtigkeit dieſes Verfahrens geht aus folgenden, von La Rive angeſtellten Verſuchen hervor: Erhitzt man einen Schmelztiegel und gießt einige Tropfen Flüſſigkeit hinein, die auf ihn chemiſch wirkt, ſo wird dadurch E erregt; weil aber die Flüſſigkeit ſchnell verdünſtet, ſo führt ſie die + E weg und macht dadurch — E frei. Nimmt man ſtatt einiger Tropfen eine größere Menge Flüſſigkeit, ſo reicht die Wärme nicht hin, dieſelbe in Dünſte zu verwandeln, die — E wird nicht fortgeführt, und daher auch + E nicht bemerkbar.

409. Es iſt ſchon früher geſagt worden, daß die *gegenſeitige Berührung* zweier ungleichartigen Metalle Veranlaſſung zum Electriſchwerden derſelben gebe, und daß immer eines poſitiv, das andere negativ electriſch erſcheine. Wir wollen mit Volta die dieſe Wirkung erzeugende Kraft *electromotoriſche Kraft* nennen, ohne vor der Hand in eine nähere Erörterung ihrer Natur einzugehen. Daß man dieſe Kraft mittelſt des Condenſators beſtimmen könne, iſt für ſich

klar. Noch leichter kommt man aber dahin, wenn man nicht die electriſche Spannung eines Plattenpaares oder einer Volta'ſchen Säule, ſondern den electriſchen Strom, in Bezug auf Richtung und Stäke, mit einem Multiplicator unterſucht; denn da werden ſchon die kleinſten Differenzen der electromotoriſchen Kraft, die man ſelbſt mit d.m beſten Condenſator nicht erſichtlich machen kann, bemerkbar. Unterſuchungen dieſer Art haben gezeigt, daß ſich alle feſten Körper, wenn ſie gute E Leiter ſind, in eine Reihe (Spannungsreihe) zuſammenſtellen laſſen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß ein vorhergehender mit jedem nachfolgenden durch Berührung poſitiv, mithin jeder folgende mit dem vorhergehenden negativ electriſch erſcheint, und die Menge der von einem Körperpaare erregten Electricität bei übrigens gleichen Umſtänden deſto größer erſcheint, je weiter die dieſes Paar conſtituirenden Körper in dieſer Reihe von einander abſtehen. Demnach iſt derjenige, welcher dieſe Reihe beginnt, mit allen anderen poſitiv, derjenige, welcher ſie ſchließt, mit allen übrigen negativ electriſch, und dieſe zwei Körper geben durch gegenſeitige Berührung die meiſte Electricität. Uebrigens iſt die electriſche Spannung desſelben Paares vollkommen conſtant, und es herrſcht in ihm immer dieſelbe electriſche Differenz; es mögen beide Körper iſolirt ſeyn oder einer derſelben mit der Erde in leitender Verbindung ſtehen. Erſcheint einer der beiden Stoffe, wenn das Paar iſolirt iſt, mit der Spannung $+ a$, der andere mit der Spannung $- a$, und herrſcht demnach zwiſchen ihnen die electriſche Differenz $2a$, ſo muß, damit dieſe Differenz dieſelbe bleibe, in dem Falle, wo einer, z. B. der negative, wegen leitender Verbindung mit der Erde, in den natürlichen Zuſtand verſetzt wird, die Spannung des anderen auf $2a$ erhöht werden. Kommen mehrere feſte Leiter unmittelbar mit einander in Berührung, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als wenn nur der erſte und letzte Körper allein einander berührten, und überhaupt iſt die Spannung zweier Körper, welche in der Spannungsreihe nicht unmittelbar auf einander folgen, gleich der Summe der Spannungen aller in dieſer Reihe zwiſchen den betreffenden Körpern liegenden. In einem aus zwei feſten und einem flüſſigen Leiter beſtehenden Elemente oder in einer Volta'ſchen Säule hängt die Beſchaffenheit der Spannung und die Richtung des Stromes nicht allein von dem Platze der feſten Leiter in der Spannungsreihe, ſondern auch von der Flüſſigkeit ab, und dieſe kann die durch Berührung der feſten Körper bedingte Spannung vermehren, vermindern oder gar in die entgegengeſetzte verwandeln und den Strom umkehren.

Marianini hat folgende Spannungsreihe durch Verſuche mit dem Multiplicator gefunden: Kohle, die lange der Luft ausgeſetzt war; ſtrahliges Graubraunſteinerz; Graumanganerz; unkryſtalliſirter Schwefelkies; magneſiahaltiger Magnetkies; kryſt. Arſenikkies; Graphit; gediegenes, goldhaltiges Tellur; Gold; Platin; Kupferkies; Blättertellur; Kobaltglanz; Fahlerz; Arſenicknickel; friſch bereitete, langſam in der Luft erkaltete Kohle; oxydulirtes Schwefeleiſenerz; Bleiglanz; glänzendes Rothgültigerz; Antimonſilber und wenig oxyd. Arſenik; Queck-

ſilber: Silber; angelauf. Spießglanz; Arſenik; Molybdänglanz; kryſt. Zinnſtein; angelauf. Kupfer; glänzender Spießglanz; erhitzte und dann ſchnell im Waſſer abgelöſchte Kohle; Nickel; angelauf. Wismuth; ſehr oxyd. Meſſing; glänzendes Kupfer; Meſſing; kryſt. Magneteiſen; Eiſen; angelauf. Blei; Mangan; Zinn; glänz. Blei; lebhaft brennende, dann in Waſſer getauchte und hierauf geprüfte Kohle; Zink. — Pouillet ſtellt folgende Spannungsreihe auf: Platin; Palladium; Tellur; Gold; Silber; Phosphoreiſen; Schwefelblei; Schwefelkupfer; Reißblei; Antimon; Phosphorkupfer; Schwefelwismuth; Queckſilber; Legirung aus 1 Antimon, 1 Zinn; Leg. aus 1 Antimon, 2 Kupfer; Arſenik; Glockenmetall; Schwefelantimon; Bronze; Kupfer; Meſſing; Wismuth; reines Antimon; Leg. aus 1 Wismuth, 4 Queckſilber; Leg. aus 1 Antimon, 2 Eiſen; Stahl; Eiſen; Schriftmetall; Zinn; Leg. aus 1 Wismuth, 20 Zinn; Leg. aus 1 Zinn, 10 Queckſilber; Blei; Schnellloth; d'Arcetiſches Gemiſche; Leg. aus 1 Blei, 4 Queckſilber; Zink, Zinn und Queckſilber. Volta's Reihe iſt folgende: Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten, kryſt. Braunſtein. Nach dieſem Gelehrten iſt die electriſche Differenz zwiſchen Zink und Blei = 5, zwiſchen Blei und Zinn = 1, zwiſchen Zinn und Eiſen = 3, zwiſchen Eiſen und Kupfer = 2 und zwiſchen Kupfer und Silber = 1. Demnach iſt die electriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 3 + 2 = 11, und jene zwiſchen Zink und Silber = 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12. Nach Munk af Roſenſchöld erregen ſelbſt ſchlecht leitende Körper Berührungselectricität. Einer derſelben, nämlich Bleiſuperoxyd ſoll ſogar der ſtärkſte negative Electromotor ſeyn. (Pogg. Ann. 35. 46.) Jede dieſer Reihen gilt nur für beſtimmte flüſſige Leiter, und kann für andere anders, ja gerade umgekehrt ausfallen. So z. B. fand Davy mit gewöhnlichen Säuren folgende Reihe: Rhodium, Iridium, Platin, Kohle, Gold, Tellur, Palladium, Silber, Kupfer, Blei, Antimon, Wismuth, Eiſen, Zinn, Cadmium, Ammoniumamalgam, Zink, Zinkamalgam, Barium und ſein Amalgam, Kalium und ſeine Amalgame. Mit Alkalilöſungen: Platin, Gold, Palladium, Silber, Eiſen, Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Alkalimetalle und ihre Amalgame. Mit Schwefelleberlöſungen: Kohle, Gold, Palladinm, Platin, Silber, Wismuth, Eiſen, Kupfer, Zinn, Zink. La Rive erhielt folgende Reihe: Mit verdünnter Salpeterſäure: Silber, Kupfer, oxydirtes Eiſen, Blei, Queckſilber, Zinn, Zink. Mit conc. Salpeterſäure: Oxydirtes Eiſen, Silber, Queckſilber, Blei, Kupfer, Eiſen, Zink, Zinn. — Die kleinſte Aenderung der chemiſchen Natur oder ſelbſt der Oberfläche der Electromotoren ändert den electromotoriſchen Rang eines Körpers. Zwei ganz gleiche Zinkplatten geben keine E, wenn ſie ſich gegenſeitig berühren; wird aber eine davon mit einer Silberplatte auch nur einmal gerieben, oder läßt man ſie einige Zeit mit einer ſolchen in Berührung, ſo gibt ſie, mit der anderen in Verbindung, — E.

410. Die Spannung in einem Plattenpaare von beſtimmter Natur iſt gleich groß, die Platten mögen was immer für eine Ausdehnung oder Oberfläche haben; die in einer ſolchen erregte freie Electricitätsmenge muß demnach der Größe der Oberfläche proportionirt ſeyn. Wird ein ſolches Plattenpaar durch einen flüſſigen Leiter zu einem Volta'ſchen Elemente umgeſtaltet, ſo kommt zu der durch Berührung der Metalle hervorgerufenen E auch noch diejenige, welche das Metall mit einem flüſſigen Leiter liefert; wird endlich die Kette geſchloſſen

und tritt ein electriſcher Strom ein, ſo richtet ſich die Menge der ſtrömenden Electricität nebſt der Natur der Erreger, des flüſſigen Leiters und des Schließungsdrahtes auch noch nach der abſoluten und relativen Größe der Erreger und nach der Leitkraft der ganzen Kette. Den Einfluß der Natur der Erreger zeigt die Spannungsreihe. Der flüſſige Leiter erhöht die Stromſtärke deſto mehr, je größer ſeine chemiſche Wirkung auf den poſitiven, und je kleiner ſie auf den negativen Erreger außerhalb der Kette iſt, und je beſſer er leitet. Er muß immer ein Electrolyt ſeyn, wiewohl er nicht nothwendig eine wirkliche Zerſetzung erleiden muß. Bei gleicher Natur und Größe der Erreger und des Leiters ſteigt die Stromſtärke mit der Größe des eingetauchten Theiles der erſteren. Eine gleiche Größe beider Erreger gibt nur dann den größtmöglichſten Effect, wenn die Flüſſigkeit eine ſehr ſtarke chemiſche Wirkung auf den poſitiven Erreger ausübt, und je geringer dieſe Wirkung iſt, deſto größer kann die Ausdehnung des negativen Erregers gegen jene des poſitiven ſeyn; doch gibt es für jede Flüſſigkeit ein beſtimmtes Größenverhältniß beider Electromotoren, bei welchem ihre Wirkung den größten Werth erreicht. Hierbei zeigen ſich alle eingetauchten Theile der Erreger thätig, und jeder trägt zur Stromſtärke ſeinen Theil bei; die von einander abgewendeten Stellen der beiden Metalle aber wegen ihres größeren gegenſeitigen Abſtandes weniger als die einander zugekehrten Kanten und Ecken, kurz alle der Einwirkung des flüſſigen Leiters ſtärker ausgeſetzten Theile ſtets mehr, als ebene und flache Stellen. Je näher ſich die Erreger ſtehen, und je dünner die ganze dazwiſchen befindliche Flüſſigkeitsſchichte iſt, deſto ſtärker fällt der Strom aus, ſo daß man in Bezug auf Stromſtärke das durch Annäherung der Platten erſetzen kann, was ihnen Mangel an hinreichend abſoluter oder relativer Größe benimmt. Ein Neigen der Platten gegen einander hat nur in ſofern einen fördernden oder hemmenden Einfluß auf die Stromſtärke, als dadurch ihr gegenſeitiger mittlerer Abſtand, d. h. die mittlere Dicke der flüſſigen Schichte vermindert oder vermehrt wird. Rauhmachen des poſitiven Metalles oder Durchbohren desſelben, fördert die Wirkung der Flüſſigkeit auf dasſelbe, und erhöht dadurch die Stromſtärke. Je ſchlechter der Schließungsdraht leitet, deſto ſchwächer iſt der Strom; da ein langer Draht weniger Leitungskraft beſitzt als ein kürzerer, ſo muß natürlich mit wachſender Länge dieſes Körpers der Strom abnehmen. Uebrigens verhält ſich die Stromſtärke genau verkehrt, wie die wahre Länge der Kette. (Caſari in Zeitſch. n. F. 4. 185 und 273.)

411. Alles, was in Betreff der gegebenen Erklärung auf Spannung und Stromſtärke eines Plattenpaares oder eines Elementes Bezug hat, gilt auch von der Volta'ſchen Säule, da dieſe nur eine Wiederholung einzelner Elemente iſt. In Bezug auf den electriſchen Strom begründet nur der Umſtand einen Unterſchied zwiſchen einer Summe von einzelnen Elementen und einer aus eben ſo vielen zuſammengeſetzten Säule, daß der Strom jedes Elementes durch die übrigen

Elemente gehen muß, und daher einen Leitungswiderſtand in demſelben erfährt. Daraus entſtehen die 355 näher erörterten Verhaltungsweiſen.

412. Ueber den Urſprung der hier beſprochenen E ſind die Phyſiker verſchiedener Meinung. Volta und Jene, die ihm folgen, ſehen die Berührung der Metalle als die unmittelbare (nicht bloß veranlaſſende) Urſache des Electriſchwerdens, mithin als eigentliche Electricitätsquelle an; Andere, wie Fabroni, Parrot, Wollaſton, Faraday, La Rive ꝛc. leiten dieſe E aus einer chemiſchen Wirkung her, welche Flüſſigkeiten auf Metalle ausüben. Beide Parteien führen Gründe für ſich an, und beiden werden Gegengründe gegenüber geſtellt, ohne daß der einen oder der anderen hiedurch ein entſchiedenes Uebergewicht zu Theil würde, ſo daß hier nichts erübrigt, als die Anſichten beider aus einander zu ſetzen, die ſtarken und ſchwachen Seiten beider zu zeigen, und hierauf das folgen zu laſſen, was nach unſerer Anſicht der Wahrheit am nächſten zu ſtehen ſcheint.

413. Die Anhänger der Contacthypotheſe nehmen an, es werde durch Berührung der Metalle unter ſich eine electromotoriſche Kraft geweckt, deren Wirkſamkeit darin beſteht, das electriſche Princip in den ſich berührenden Körpern zu zerſetzen und einen beſtimmten Antheil + E in dem einen, einen entſprechenden Antheil — E in dem anderen Metalle anzuhäufen und deren Wiedervereinigung über die Grenze der Berührungsſtelle zu verhindern. Die Spannungsreihe der Metalle und der feſten Leiter ſtellt die relative Größe dieſer Kraft zwiſchen zwei Stoffen der Reihe dar. Flüſſige Körper können zwar mit flüſſigen oder feſten auch eine ſolche Kraft wecken, aber dieſe iſt anderer Natur als die vorher genannte, und darum geben feſte und flüſſige Stoffe unter ſich keine Spannungsreihe, aber die geſammte, in einem Elemente, d. i. in zwei Erregern und einem flüſſigen Leiter frei gewordene E begreift nicht bloß die durch Berührung der Metalle, ſondern auch durch Berührung eines Metalles mit der Flüſſigkeit erregte E Menge. Werden mehrere Paare von Electromotoren mit einem flüſſigen Leiter zu einer Säule zuſammengeſtellt, ſo iſt jeder flüſſige Leiter ſowohl, als jeder Electromotor zugleich ein Leiter der E; er nimmt von der E der Umgebung ſo viel auf, als das Gleichgewicht fordert und leitet es weiter, und das, was ein Körper auf ſolche Weiſe durch Mittheilung an die übrigen verloren hat, erſetzt die electromotoriſche Kraft wieder. Daher kommt es, daß eine ſolche Säule eine der Anzahl ihrer Plattenpaare proportionirte electriſche Spannung annimmt.

Es ſey in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Electricitätsmenge des Zinkes + a, die des Kupfers — a, und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht electromotoriſch wirkend anſehen wollen. Dieſer nimmt von der Kupferplatte ſo viel E auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhalt, dieſer Verluſt wird aber im Kupfer augenblicklich durch die fortwährend thätige electromotoriſche Kraft wieder erſetzt und ſein Electricitätszuſtand iſt wieder — a. Es haben daher die Theile der Säule ZKL in der Ordnung wie ſie auf einander folgen, die Elec-

tricitäten $+a$, $-a$, $-a$. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, ſo nimmt auch dieſe durch den feuchten Leiter an der Electricität der erſten Kupferplatte Theil, und der Zuſtand der Säule Z K L Z iſt in ihren einzelnen Theilen folgender: $+a$, $-a$, $-a$, $-a$. Nun lege man auf Z ein zweites K. Als Leiter nimmt dieſes K die Electricität $-a$ an, als Erreger erhält es abermals $-a$, das Z bekommt $+a$, und dieſes $+a$ wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, ſo daß demnach in der Säule folgende electriſche Zuſtände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, das zweite als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite Element als Erreger, das erſte als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Beide Elemente als Leiter und Erreger	$+2a$,	0	0	0	$-2a$.

Auf ähnliche Weiſe erhält man in einer Säule aus drei Elementen folgende Electricitätszuſtände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das dritte als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Alle drei Elemente als Leiter und Erreger	$+3a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-3a$

Es nimmt demnach die Spannung ſowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pole an nach der entgegengeſetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, gerade wie es die Erfahrung zeigt. Die Differenz zwiſchen der letzten Zink- und Kupferplatte iſt hier $= 6a$. Steht aber die Kupferplatte mit der Erde leitend in Verbindung, ſo iſt ihre $E = 0$; und daher, wenn dieſelbe electriſche Differenz zwiſchen den äußerſten Platten Statt finden ſoll, jene der äußerſten Zinkplatte $= 6a$, doppelt ſo groß als vorhin. Hier iſt aber auf die electromotoriſche Kraft des flüſſigen Leiters keine Rückſicht genommen worden. Kommt auch dieſe in Rechnung, ſo wird dadurch die E der Säule größer oder kleiner, je nachdem die electromotoriſche Kraft der Flüſſigkeit jene der feſten Erreger unterſtützt oder ihr entgegen wirkt.

414. Die Hypotheſe des chemiſchen Urſprunges der E ſpricht ſich, wenigſtens im Sinne ihres beharrlichſten Vertheidigers, La Rive, folgendermaßen aus: Wird ein Metall in ein gasförmiges oder tropfbares Mittel gebracht, welches es anzugreifen vermag, ſo wird, ſobald die chemiſche Thätigkeit beginnt, ſeine natürliche E zerſetzt, und es vereinigt ſich ein Beſtandtheil desſelben mit dem Metalle, der entgegengeſetzte mit der Flüſſigkeit. Beſteht die chemiſche Wirkung in einer bloßen Verbindung der Atome der Flüſſigkeit mit jenen des Metalles, ſo wird letzteres poſitiv, erſtere negativ electriſch; beſteht aber der chemiſche Proceß zugleich in einer Verbindung und Trennung der Atome, ſo hängt es davon ab, welche von beiden mehr E liefert, denn immer iſt die bei der Trennung der Atome eintretende Electriſirung jener bei der Verbindung derſelben Statt findenden entgegengeſetzt, und daher das Reſultat beider Proceſſe von der Differenz ihrer Wirkungen abhängig. Die Intenſität der bei einem derlei Proceſſe frei werdenden E richtet ſich nach der Natur der ſich trennenden oder

verbindenden Atome und nach den Hinderniſſen, die der Wiedervereinigung beider frei gewordenen E im Wege ſtehen. Befinden ſich zwei ſich berührende Metalle in einem auf beide, jedoch mit ungleicher Stärke chemiſch wirkenden Mittel, ſo werden auch beide electriſch, und zwar iſt immer das mehr angegriffene poſitiv, das andere negativ. Werden mehrere ſolche Paare mittelſt eines flüſſigen Leiters zu einer Volta'ſchen Säule zuſammengeſtellt, ſo dienen für jedes Paar alle übrigen als Leiter, die gleichzeitig in demſelben Körper vorkommenden entgegengeſetzten E neutraliſiren ſich, und ſo kommt es, daß ſich die poſitive E nach einer, die negative nach der anderen Seite zu anhäuft.

Der weſentliche Unterſchied zwiſchen dieſen beiden Anſichten beſteht demnach in Folgendem: Nach der Berührungshypotheſe wird E durch eine den Metallen inwohnende, in denſelben durch Berührung erregte, von allen bekannten Kräften verſchiedene Kraft hervorgerufen, ohne materielle Veränderung dieſer Metalle; beide ſpielen dabei eine active Rolle, der feuchte Leiter verhält ſich theils paſſiv, indem er die E der feſten Erreger leitet, theils activ, wenn er ſelbſt electromotoriſch wirkt. Nach der chemiſchen Hypotheſe wird nur die E, welche in dem feuchten Leiter gebunden war, frei, weil die chemiſche Vereinigung ſeiner Beſtandtheile aufhört und die E Entwicklung gehört in die Reihe der in 408 betrachteten. Die Metalle, entweder beide oder nur eines derſelben, wirken nur durch ihre Verwandtſchaft zu den Beſtandtheilen des flüſſigen Leiters; es iſt eine Berührung von zweien vortheilhaft, damit ein Gegenſatz chemiſcher Wirkungen Statt finde und die E, welche die weitere Zerſetzung des Leiters und die Oxydation eines Metalles hindert, in das andere abgeſtoßen werden könne; die Flüſſigkeit wirkt daher durch die chemiſche Verwandtſchaft ihrer Beſtandtheile und durch ihre Zerſetzbarkeit. Während nach der Berührungshypotheſe die Körper in zwei Claſſen zerfallen, nämlich in ſolche, welche als Electromotoren und Leiter, und in ſolche, welche bloß als Leiter wirken; ſo ſind ſie nach der chemiſchen Hypotheſe entweder Leiter, ohne Electrolyte zu ſeyn, oder Leiter und Electrolyte zugleich. Nach der Berührungshypotheſe wird die Vereinigung der durch Berührung von einander getrennten E von der electromotoriſchen Kraft verhindert, nach der chemiſchen Hypotheſe ſtehen der Vereinigung der zwei entwickelten E nur gewöhnliche Leitungswiderſtände entgegen, und die chemiſche Wirkung erſetzt fortwährend, ſo lange ſie fortdauert, das, was durch Neutraliſirung der beiden E verloren gegangen iſt.

415. Zu Gunſten der Berührungs- und gegen die chemiſche Hypotheſe ſpricht die Erfahrung Pfaff's, daß ein Zinkkupferelement auch in vollkommen trockenem, kein Oxygen enthaltenden Waſſerſtoff-, Kohlenwaſſerſtoff-, Stickſtoff- und Kohlenſäuregaſe, ja ſogar im leeren Raume electriſche Spannung zeigt (*Ann. de Chim.* 41. 236); daß der mit einem ſolchen Elemente unter den gewöhnlichen Verhältniſſen in der Luft vorgenommene Fundamentalverſuch immer daſſelbe Reſultat gibt, ſo oft man ihn auch hinter einander anſtellen mag, welches doch nicht ſeyn könnte, wenn eine Oxydation des Zinkes die Electricitätsentwicklung begründete; daß die Spannung einer nicht iſolirten Säule von der Natur des flüſſigen Leiters unabhängig iſt; fer-

ner, daß ein Goldplatinelement in der Luft electriſch erſcheint, ohne daß man eine chemiſche Wirkung des Waſſers oder der Luft auf eines der zwei Metalle wahrnehmen kann; daß eine zweielementige Säule ohne Spur einer chemiſchen Wirkung E entwickelt; endlich, daß ſich, wie in der Folge gezeigt werden ſoll, in einer Kette von edlen Metallen, die ſich in der Luft nicht oxydiren, durch bloßes Erwärmen der Verbindungsſtelle zweier ſolchen Metalle ein electriſcher Strom eintritt, der ſo lange anhält, als die verlangten Temperaturbedingungen vorhanden ſind. Aber jedes Bemühen, einen vollkommen entſcheidenden Verſuch, ein ſogenanntes experimentum crucis, zu Gunſten dieſer Anſicht anzuſtellen, iſt bis jetzt vergebens geweſen, indem die unter dieſem Namen angeführten Experimente, ſtreng genommen, weder für, noch gegen dieſe Vorſtellungsart etwas beweiſen. Dagegen ſprechen für die chemiſche und gegen die Berührungshypotheſe folgende Erfahrungen: Der flüſſige Leiter hat einen entſchiedenen Einfluß auf die Stärke und Beſchaffenheit des electriſchen Stromes eines Electromotors, dieſer muß immer ein zerſetzbarer Körper ſeyn, und je größer ſeine chemiſche Wirkung auf die ſogenannten Electromotoren iſt, ein deſto ſtärkerer Strom wird in der Regel hervorgerufen. Zwei in einem flüſſigen Leiter ſtehende Metalle ſind ſchon electriſch, bevor ſie ſich ſelbſt berührt haben, denn es entſteht ſchon **vor** Herſtellung ihrer Berührung ein Funke. Den großen Einfluß, den die Beſchaffenheit der Oberfläche eines Metalles und ſeiner größeren Rauhheit oder Glätte auf ſeine Stelle in der Spannungsreihe ausübt, den Einfluß der relativen Größe der beiden Electromotoren, die größere Wirkung der Ecken, Kanten und Spitzen ꝛc. laſſen ſich wohl aus der chemiſchen, aber nicht aus der Contacthypotheſe einſehen. Endlich läßt ſich nachweiſen, daß in einem Elemente die durch Zerſetzung des feuchten Leiters frei gewordene Electricität der Quantität nach gerade ſo groß ſey, als die, welche die Oxydation des einen Metalles fordert ꝛc.

Salpeterſäure iſt bei einem Zinkplatinelemente ſehr, bei einem Goldplatinelemente gar nicht oder nur ſehr wenig wirkſam. Eiſen iſt gegen Kupfer in einer Salzlöſung oder Säure poſitiv, in einer Schwefelleberlöſung negativ electriſch. Eine Kette aus Kupfer und Eiſen zeigt in einer Schwefelleberlöſung gleich Anfangs einen ſehr ſtarken electriſchen Strom; dieſer nimmt aber zuſehends ab, und geht endlich in den entgegengeſetzten über. Dasſelbe bemerkt man an einer Bleizinnkette, in concentrirter Salpeterſäure. Merkwürdig und entſcheidend iſt folgender Verſuch, den **Faraday** angeſtellt hat: Es wurde ein amalgamirter abgewogener Zinkſtreif A in Schwefelſäure getaucht, die ſich in einer pneumatiſchen Wanne befand, und auf 1 Maß Säure 30 Maß Waſſer enthielt, und eine mit derſelben Säure gefüllte Flaſche darüber geſtürzt. In dieſelbe Wanne und auch unter dieſelbe Flaſche wurde noch ein zweiter abgewogener amalgamirter Zinkſtreifen B gebracht und mit Platin in Berührung geſetzt. Während am erſteren kaum eine Luftblaſe zu bemerken war, trat am Platin eine ſtarke Waſſerſtoffgasentwicklung ein, und der Zinkſtreifen B wurde ſichtlich oxydirt. Als der Verſuch 10—12 Minuten gedauert hatte, wurde er abgebrochen, der Streifen A herausgenommen, mit deſtillirtem Waſſer gewaſchen,

getrocknet und gewogen. Man fand ſein Gewicht unverändert. Als daſſelbe mit dem Streifen B vorgenommen wurde, fand man, daß er durch Oxydation 3.45 Gran verloren hatte. Das entwickelte Waſſerſtoffgas betrug 12.15453 K. Z., und daher der Sauerſtoff, der damit in Verbindung war 6.02726 K. Z., ſo daß demnach zu ſchließen war, es ſeyen 2,3535544 Gran Waſſer zerſetzt worden. — Dieſes Gewicht verhält ſich demnach zu jenem des oxydirten Zinkes wie 2.35 : 3.45, d. h. wie die electriſchen Aequivalente des Waſſers und Zinkes, und die aus der Waſſerzerſetzung frei gewordene E reicht vollkommen und gerade hin, um ſo viel Zink zu oxydiren, als wirklich oxydirt worden iſt.

416. Aus dieſer Darſtellung erſieht man, daß jede der beiden Hypotheſen ihre ſchwache Seite habe, und in Aufdeckung dieſer iſt man bisher viel glücklicher geweſen, als im Hinwegräumen der Schwierigkeiten. Jede der beiden Parteien läßt Gründe gelten, die keine ſtrenge Kritik aushalten, verweigert aber der Gegenpartei den Gebrauch gleicher Hilfsmittel. Uebrigens finden die Anhänger der Contacthypotheſe überall leichter Rath, als die der chemiſchen Anſicht, weil ſich die electromotoriſche Kraft überall, wo man ſie und ſo wie man ſie braucht, annehmen läßt, während die chemiſchen Geſetze unabhängig von der Electricität feſtſtehen und nicht nach Belieben gemodelt werden können. Im Allgemeinen muß man bekennen, daß die Anhänger der chemiſchen Hypotheſe das Electriſchwerden zweier ſich berührenden Metalle nicht genügend zu erklären wiſſen, und daß die Vertheidiger der Contacthypotheſe die Rolle des flüſſigen Körpers in der einfachen oder zuſammengeſetzten, geſchloſſenen Kette nicht genügend ins Reine zu bringen verſtehen. Alles zuſammen genommen zeigt, daß keine der beiden Hypotheſen der Wahrheit nahe komme, und darum mag hier eine andere Anſicht Platz haben. Die Phyſiker halten ſchon längſt die Kräfte, welche der Adhäſion, und jene, welche der chemiſchen Verwandtſchaft zum Grunde liegen, nicht für weſentlich verſchieden; ja einige haben es ſogar verſucht, die Verwandtſchaftsgrade nach der Größe der Adhäſion zu beſtimmen. (Scholz's Phyſik. 4. Aufl. 1. 152.) Es iſt dem Geiſte der Wiſſenſchaft nach ihrem gegenwärtigen Stande nicht unangemeſſen, die chemiſche Anziehung als eine verſtärkte Adhäſionskraft anzuſehen. Prechtl (Pogg. Ann. 15. 223) hat in der That die innige Verbindung zwiſchen der Adhärenz der Metalle und ihrer electriſchen Differenz, d. h. ihrer relativen Stelle in der Spannungsreihe nachgewieſen; Becquerel hat gezeigt, daß auch durch Capillaritätswirkung, die bekanntlich ganz auf der Adhäſion und Cohärenz beruht, Electricität erregt werde. Ferner iſt aus Girard's Verſuchen, ſo wie aus der Theorie der Haarröhrchen (Pogg. Ann. 5. 41) bekannt, daß die Adhäſion eine Aenderung der Dichte der flüſſigen an feſte grenzenden Körperſchichten bewirke. Auf dieſe Thatſachen geſtützt, denken wir uns die Electricitätserregung bei einem Volta'ſchen Elemente als den Erfolg der Molecularveränderung, welche ſich berührende Körper, zwiſchen denen eine Adhäſion Statt findet, durch die Adhäſionskraft erleiden. Die Veränderung bezieht ſich oft nur auf die Dichte der ſich

berührenden Körper, und zwar oft ſogar nur auf die der Berührungs- ſtelle nächſten Schichten; bei intenſiver Kraft und günſtigen Umſtänden aber auch auf die chemiſche Natur der Körper. Dieſe Anſicht bedarf nicht der Annahme einer neuen Kraft, wie jene der Contacthypotheſe, und macht doch das Erſcheinen von Electricität ohne chemiſche Wirkung erklärbar, ſie hat mit der chemiſchen Hypotheſe gemein, daß ſie wie dieſe die Erſcheinungen einer einfachen Kette aus den Molecularkräften ableitet, daß der flüſſige Körper durch dieſe Kraft und nicht bloß als Leiter wirkſam gedacht wird, und daß die Beſtandtheile der Kette durch ihre phyſiſche Veränderung die Quelle der Electricität werden, die Berührung aber dieſe Veränderung möglich mache, mithin nur veranlaſſende, nicht die eigentlich wirkende Urſache des Electriſchwerdens ſey. Sie ſteht nach ihrem Sinne der chemiſchen Hypotheſe näher als der Contacthypotheſe, welche eine E Entwicklung ohne weitere Veränderung der Körper annimmt, ja die chemiſche Anſicht iſt ein beſonderer Fall von dieſer. Das gleichzeitige Auftreten chemiſcher Wirkungen mit E Entwicklungen, und daß die chemiſche Kraft einer einfachen Kette in dem Maße ab- und zunimmt, wie die chemiſche Wirkung zu dem flüſſigen Leiter und den Beſtandtheilen der Kette kleiner oder größer wird, ſteht mit dieſer Anſicht im beſten Einklange. Es geht aus derſelben hervor, daß die electriſche und die Molecularkraft eines und dasſelbe ſind, und daß letztere jedesmal als Electricität erſcheint, wenn ſie aus einer Wirkungsweiſe in eine andere übergeht, wie z. B., wenn ſie aufhört, die Beſtandtheile des Waſſers zuſammenzuhalten und dafür das Zink oxydirt. Schönbein's neueſtens aufgeſtellte Hypotheſe der chemiſchen Tendenzen iſt von dieſer Anſicht nicht weſentlich verſchieden. (Davy in *Phil. Tranasct.* 1807 und 1826. Schönbein in Pogg. Ann. 43. 89 und 229. Reviſion der Lehre vom Galvano-Voltanismus von Pfaff. Altona 1837. Ueber Contact-Electricität von Karſten. Berlin 1836. La Rive in Pogg. Ann. 15. 98; 37. 225; 40. 355 und 515. Gmelin ebend. 44. 1; Fechner ebend. 41. 225; 42. 481; 44, 37.)

417. Der electriſche Strom bringt ſowohl in einfachen Ketten als in Säulen Effecte hervor, die auf ihn ſelbſt zurückwirken und ſeine Stärke und Richtung abändern. Es wirkt ein electriſcher Strom unmittelbar auf die erregende Kraft ein, und macht den Körper, in welchen der Strom von der Flüſſigkeit eintritt, gegen jenen, von welchem er in die Flüſſigkeit gelangt, poſitiv-electriſch. Dieſes zeigt folgender Verſuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derſelben in ein Glas mit Waſſer, verbinde ſie mit einander außerhalb der Gläſer leitend, und bringe in eines der Gläſer, dem Silber zur Seite, einen Zinkſtreifen, in das andere einen Kupferſtreifen und verbinde dieſe letzteren ſelbſt mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüſſigkeit, verbindet ſie mit einander zu einer einfachen Kette, ſo erſcheint die Platte, welche ſich neben dem Kupfer befand, und in welche die

Electricität vom Waſſer einſtrömte, poſitiv, die andere negativ. Dieſe Aenderung erleidet ein Körper um ſo leichter, je öfter man ihn einem electriſchen Strome bereits ausgeſetzt hat; ſie erſtreckt ſich aber nur auf den in die Flüſſigkeit getauchten Theil desſelben. Daraus folgt nun, daß in einem in einer Flüſſigkeit befindlichen Plattenpaare der Strom immer ſchächer werden, und endlich gar in entgegengeſetzter Richtung auftreten müſſe. Dieſes fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemiſche von 100 Th. Waſſer und 1 Th. Schwefelſäure. Da erſchien zuerſt das Platin negativ, der Graphit poſitiv; nach öfterem Eintauchen verſchwand der Strom ganz, und trat endlich in entgegengeſetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher dieſe Veränderung vor ſich geht, hängt vom feuchten Leiter ab und iſt deſto kürzer, je beſſer dieſer leitet. Waſſer bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes; Platten, die nicht oxydirbar ſind, wie z. B. von Gold und Platin, kehren, wenn ſie einige Zeit der Luft ausgeſetzt ſind, wieder in ihre urſprüngliche electriſche Reihe zurück. Aus dieſem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Electromotors bloß durch die Wirkung des einige Zeit lang Statt findenden electriſchen Stromes eine Aenderung erleide. Marianini hat dieſes durch eigene Verſuche mit Volta'ſchen Säulen näher erörtert und ſich überzeugt, daß der Verluſt, den ein ſolcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am ſchnellſten erfolge, in der Folge immer langſamer vor ſich gehe und endlich eine beſtimmte, unüberſchreitbare Grenze erreiche. Dieſe Abnahme erfolgt (nach Fechner) deſto ſchneller, je kürzer der die Kette ſchließende feſte oder flüſſige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares iſt; ſchneller, wenn die Fläche des poſitiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Uebrigens hängt ſie auch von der Natur der Platten und der flüſſigen Leiter ab und befolgt ſelbſt bei ganz gleich conſtruirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieſelbe iſt, einen verſchiedenen Gang. Eine einfache Kette, mit großen, weit von einander abſtehenden Platten aus Zink und Zinn, mit ſtark ſaurem Waſſer, oder noch beſſer mit Kupfervitriollöſung, durch einen langen Polardraht geſchloſſen, wird ihre Kraft nur ſehr langſam verlieren. (Marianini in Zeitſch. 3. 365. 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63; 249.) Der Grund dieſes Phänomens ſcheint darin zu liegen, daß durch den electriſchen Strom die Oberfläche der Metalle verändert und ſo die Action, welche die Electricität-Entwicklung bedingt, modificirt wird. Säulen mit amalgamirten Zinkplatten ſind darum auch wirkſamer und dauernder, weil die Zinkfläche immer rein bleibt, indem das gebildete Oxyd ſchnell durch die freie Säure entfernt wird.

418. Zu den wirkſamſten Erzeugungsmitteln der E gehört auch die Wärme. Bringt man am Deckel eines guten Condenſators einen Platindraht an, deſſen über den Deckel hervorragendes Stück ſpiralförmig zuſammengewunden iſt, und erhitzt dasſelbe zum Rothglühen; ſo findet man, wenn man die Baſis des Condenſators mit der Hand,

und die Spirale mit einem feuchten Papiere oder mit einem durch Hitze leitend gemachten Glasſtabe berührt, den Condenſatordeckel negativ, den Papierſtreifen oder den Glasſtab poſitiv-electriſch (Zeitſch. 10. 200). An ſchlechten Leitern treten durch Erwärmung beide E deutlich hervor. Dieſes zeigt ſich beſonders auffallend am kryſtalliſirten Turmalin. Wird nämlich ein ſolcher, beſonders wenn er im Inneren rein und nicht zerklüftet iſt, und zu der hell gefärbten durchſichtigen Varietät gehört, bis 30° C. gleichmäßig erwärmt, ſo erſcheint er an einer Hälfte poſitiv, an der anderen negativ, und wird dieſes immer mehr, je höher ſeine Temperatur ſteigt, doch darf ſie nicht ſtationär werden. Sobald ſie nicht mehr ſteigt, verſchwindet auch die E; ſobald ſie abzunehmen beginnt, erſcheint der Kryſtall wohl wieder electriſch, doch hat, wenn die Erkaltung ſeine ganze Maſſe trifft, der Theil, welcher vorhin + E zeigte, nun — E. Der Uebergang von einem electriſchen Zuſtande in den entgegengeſetzten erfolgt ſehr ſchnell. Die Stärke ſeiner E iſt der Erwärmungs- oder Erkaltungsgeſchwindigkeit nicht proportionirt. Iſt nur ein Theil eines Turmalins im Erwärmen und Erkalten begriffen, ſo verhält ſich der ganze Kryſtall ſo, als beſtünde dieſer aus zwei Theilen, deren jeder für ſich einen eigenen, ſelbſtſtändigen, electriſchen Zuſtand annimmt, und der des einen Theiles iſt jenem des anderen entgegengeſetzt. Doch zeigt ein ſolcher Kryſtall unter gewiſſen Umſtänden nur eine E, ohne daß man wahrnehmen kann, was aus der anderen geworden iſt. Zerſchneidet man einen Turmalin, während er electriſch iſt, ſo erſcheint jedes Stück desſelben mit einer poſitiven und einer negativen Hälfte, und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengeſetzte E. Man kann einen Turmalin ſelbſt zu Pulver zerſtoßen, und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen electriſchen Zuſtandes von ſich geben. Es ſind aber nicht alle Turmaline der electriſchen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinſten am leichteſten electriſch. Turmaline, welche einer ſtarken Electriſirung fähig ſind, werden durch ſchnelle und durch langſame Erwärmung gleich electriſch. Aehnliche Erſcheinungen bemerkt man auch an anderen, ſelbſt an künſtlich erzeugten Kryſtallen, immer aber nur an hemiedriſchen, d. i. an ſolchen, deren Kryſtallflächen an den zwei einander gegenüberſtehenden Enden nicht ſymmetriſch angeordnet ſind. Es ſind aber nicht immer zwei electriſche Pole wie beim Turmalin, ſondern oft mehrere vorhanden. So z. B. hat ein Boracit acht electriſche Pole, wenn er auch nur eine Linie im Durchmeſſer hat. Einen Topaskryſtall fand Haüy an beiden Enden negativ, in der Mitte poſitiv-electriſch; nach Erman (Pogg. Ann. 25. 615) hingegen hat ein braſilianiſcher erwärmter Topas in der Axe und parallel mit derſelben — E, ſenkrecht darauf + E. Auch iſt die zur Electricitätserregung nöthige Temperaturgrenze nicht bei allen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° C. Galmei iſt ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme electriſch. (Zeitſch. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 623. G. Roſe ebend. 39. 285.)

Kryſtalle, an denen man durch Temperaturänderung Electricität erregen kann, ſind: Turmalin, Topas, Axinit, Boracit, Meſotyp, Prehnit, Zinkoxyd, Sphen, Scolecit, Meſolit, Kalkſpath, gelber Beryll, Schwerſpath, ſchwefelſaurer Strontian, kohlenſaures Blei, Diopſid, rother und blauer Flußſpath, Diamant, Auripigment, Analcim, Amethyſt, Quarz aus der Dauphiné, Idokras, Honigſtein, natürlicher Schwefel, Granat, Dichroit, weinſteinſaures Kali und Natron, Weinſteinſäure, kleeſaures Ammonium, chlorſaures Kali, Bitterſalz, ſchwefelſaures Ammonium, Eiſenvitriol, blauſaures Kali, Zucker, eſſigſaures Blei, kohlenſaures Kali, Citronenſäure, Queckſilberſublimat.

419. Wenn man zwei Metallſtücke derſelben Natur mit den Enddrähten eines Multiplicators verbindet, dann eines der Metalle erhitzt und hierauf beide in gegenſeitige Berührung bringt; ſo zeigt die Magnetnadel alſogleich einen electriſchen Strom an, den man einen thermo-electriſchen nennen kann, weil er einzig und allein durch Temperaturdifferenz hervorgerufen wird. Die Stärke dieſes Stromes richtet ſich nach der Natur der Metalle und ihrer Temperaturdifferenz, in Bezug auf deſſen Richtung zerfallen aber die Metalle nach Emmet's und Nobili's Verſuchen in zwei Claſſen, nämlich in ſolche, wo der poſitive Strom mit dem Gange der Wärme einerlei Richtung hat, und in andere, wo Wärme und Electricität einander entgegengehen. In die erſte Claſſe gehören: Platin, Gold, Silber, Kupfer, Nickel; in die zweite: Zinn, Blei, Zink, Eiſen, Queckſilber, Arſenik, Antimon, Wismuth. Eine etwaige Oxydirung eines Metalles beim Erwärmen bringt eine Störung in dieſem Geſetze hervor. (Emmet in Silliman's Journal 25. 271 und 26. 311; in Dove's Repertorium 1. 344.) Es iſt nicht einmal nothwendig, die ungleich warmen Metallſtücke mit einander in unmittelbare Berührung zu bringen; denn Andrew's (Pogg. Ann. 41. 164) hat derlei electriſche Ströme auch erhalten, als er die Metalle von ungleicher Temperatur in einen Tropfen eines geſchmolzenen und dadurch leitend gewordenen Salzes (Borax, kohlenſaure und ſchwefelſaure Soda, kohlenſaures Kali, Chlorkalium, Jodkalium, Chlorſtrontium, borſaure Soda ꝛc) ſteckte. Anſtatt die Metallſtücke erſt nach dem Erwärmen in Berührung zu bringen, kann man ſie auch erſt, wenn ſie ſchon einander berühren, erwärmen; ja man kann ſogar mit Erfolg an einem großen Metallſtücke eine örtliche Erwärmung hervorbringen, und auch in dieſem Falle ſich vom Daſeyn eines electriſchen Stromes überzeugen. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zuſammengebogen, wie Fig. 358 zeigt, und das hervorſtehende Ende b erwärmt, ſo tritt ein electriſcher Strom in der Richtung der beigeſetzten Pfeile ein, und iſt ſchon ohne Multiplicator bemerklich. Windet man die mit einander verſchlungenen Enden eines Multiplicators ſchraubenförmig zuſammen und erhitzt ſie dann, ſo weicht alſogleich die Magnetnadel aus, zum Beweiſe, daß ein electriſcher Strom eingetreten ſey. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Thoncylinder, erhitzt einen derſelben am äußerſten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten;

ſo zeigt ſich alſogleich ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender Strom. Verſuche über Thermo-Electricität in einem einzigen Metalle gelingen beſonders gut mit kryſtalliniſchen Metallen, z. B. mit Wismuth, Antimon ꝛc. An einem Wismuth- oder Antimonringe, der mit einer Flamme an einer Stelle erwärmt worden, fand Seebeck zwei Puncte, deren Erwärmung die ſtärkſte, und zwei andere, deren Erwärmung gar keine E gibt; man muß ſie aber an jedem Ringe eigens aufſuchen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma von Wismuth an einer Stelle und ſtellt ſie dann im magnetiſchen Meridian unter eine empfindliche Magnetnadel, und dreht dabei den Stab um ſeine Axe; ſo findet man immer mehrere Stellen, von welchen die Nadel afficirt wird. Dieſe liegen meiſtens mit der Axe des Stabes parallel, und je zwei derſelben haben eine Stelle zwiſchen ſich, welche gar nicht auf die Nadel wirkt. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach beſtimmten Richtungen längs der Axe leitende Drähte gezogen waren, durch welche ein ſchwacher electriſcher Strom geleitet werden konnte, dieſelben Wirkungen erhalten, wie an einem erhitzten Wismuthſtabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 133, 253. Yelin in Gilb. Ann. 73. 415. Schweigg. J. 37. 21. Nobili in Zeitſch. 4. 350; 10. 200, 221; Sturgeon in Zeitſch. 10. 221.)

420. Sind die mit den Multiplicatorenden verbundenen, ungleich warmen Metallſtücke von ungleicher Natur, ſo entſteht bei ihrer Berührung um ſo eher ein electriſcher Strom. Die Richtung dieſes hängt aber nun von der Natur der Metalle und dem Gangunterſchiede der Wärme in denſelben ab. Es iſt klar, daß auch dieſe Metalle erſt, nachdem ſie ſchon mit einander verbunden, bloß zuſammengedrückt oder gar zuſammengelöthet ſind, an der Verbindungsſtelle erwärmt werden können. Da iſt die Richtung des Stromes bloß von der Natur der Metalle abhängig, weil durch dieſe auch ſchon der Gang der Wärme beſtimmt wird. Wird die Verbindungsſtelle ſtatt erwärmt zu werden erkaltet, ſo tritt auch der electriſche Strom in entgegengeſetzter Richtung auf. Man kann die Metalle in eine Reihe (thermo-electriſche Reihe) zuſammenſtellen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß im Falle der Erhitzung der Verbindungsſtelle der poſitive Strom der E immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden geht, und bei derſelben Temperaturdifferenz deſto ſtärker iſt, je weiter die Metalle in dieſer Reihe von einander abſtehen. Bei mancher thermo-electriſchen Kette iſt die Stromſtärke innerhalb gewiſſer ziemlich weit von einander abſtehenden Grenzen der Temperaturdifferenz proportional, in anderen kann man auf dieſe Proportionalität nur innerhalb ſehr enger Grenzen oder auch gar nicht rechnen. So z. B. findet bei einer Wismuthkupferkette dieſe Proportionalität zwiſchen — 17° C. und + 17° C. Statt, bei einer Eiſenplatinkette ſcheint ſie aber gar nicht vorhanden zu ſeyn. (Pouillet in Pogg. Ann. 39. 567 und 41. 144.) Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn man die thermo-electriſche Kraft des erſten Metalls der genannten Reihe mit allen folgenden beſtimmt

hat, die Kraft jeder beliebigen Combination aus dieſer Reihe dem Unterſchiede der Kräfte in Bezug auf das erſte gleich ſey.

So z. B. fand man für eine beſtimmte Temperaturdifferenz die Kraft einer Kette aus Eiſen und Silber = 26.20, aus Eiſen und Kupfer = 27.96, aus Eiſen und Zinn = 31.24, und aus Eiſen und Platin = 36.07, und daher iſt die Kraft einer Kette aus Kupfer und Silber = 27.96 — 26.20 = 1.76, aus Platin und Silber = 36.07 — 26.20 = 9.87 ꝛc. Beſagte Reihe iſt nach Seebeck folgende: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Meſſing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Meſſing Nr. 2, Platin Nr. 2, Queckſilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eiſen, Arſenik, Antimon, Tellur. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 17; Becquerel in Zeitſchr. 1. 430.)

421. Man kann die bisher beſprochenen thermo-electriſchen Ketten als einfache betrachten, und mehrere derſelben zu einer zuſammengeſetzten Säule oder thermo-electriſchen Batterie verbinden, indem man die einzelnen Elemente nach der Reihe mit den freien Enden zuſammenlöthet, und nur vom erſten und letzten ein Ende frei läßt. Nach Maßgabe des Gebrauches, für welchen derlei Thermoſäulen beſtimmt ſind, werden ſie auch verſchieden conſtruirt, jedoch immer ſo, daß man die 1ſte, 3te, 5te ꝛc., oder die 2te, 4te, 6te ꝛc. Löthſtelle zugleich erwärmen oder erkälten kann. (Nobili in Pogg. Ann. 36. 525; Davy ebend. 44. 592.) Man kann eine ſolche Thermoſäule ſo empfindlich einrichten, daß man damit eine Temperaturdifferenz von $\frac{1^\circ}{6000}$ R. bemerklich machen kann. (Zeitſch. n. F. 1. 187.)

422. Der thermo-electriſche Strom gibt ſich nicht bloß durch ſeine Wirkung auf eine Magnetnadel zu erkennen, ſondern er kann auch alle übrigen Wirkungen hervorbringen, die man von anderen electriſchen Strömen kennt. Man hat bereits durch ſolche Ströme Froſchſchenkel in Zuckungen verſetzt, Waſſer und Salze zerlegt, Funken und ſelbſt Temperaturerhöhungen hervorgebracht. Es unterſcheidet ſich demnach ein ſolcher Strom in nichts von einem anderen. Daß er nicht fähig iſt, einigermaßen dicke Flüſſigkeitsſchichten oder lange Leitungsdrähte zu durchſtrömen, ohne eine an Vernichtung grenzende Schwächung zu erleiden, rührt davon her, daß ein ſolcher Strom in einer ganz aus Metallen beſtehenden, meiſtens ſehr kurzen Kette ſeinen Urſprung hat, wo er nur einen ſehr geringen Leitungswiderſtand erfährt, und daher jede Zugabe in der Länge des Schließungsdrahtes oder in der Dicke der flüſſigen Schichte die wahre Länge der ganzen Säule ſehr ſtark ſteigert, und einen relativ großen Widerſtand erzeugt.

Nobili hat zuerſt mittelſt eines thermo-electr. Stromes Zuckungen an Froſchſchenkeln hervorgebracht, Botto in Turin gelang es mittelſt einer Platineiſenſäule von 120 Elementen von 1 Z. Länge und 1/4 Z. Dicke, geſäuertes Waſſer zu zerſetzen; Becquerel zerlegte gar mit

einem einzigen Elemente aus Platin und Kupfer Metallſalze, wenn er den Pol des Elementes mit jenem Metall bekleidete, deſſen Oxyd dem Salze zur Baſis diente; Antinori brachte mit einer Säule aus 25 Antimon-Wismuthelementen einen glänzenden Funken hervor, wenn er die Kette durch einen ſpiralförmigen, langen, um einen weichen Eiſenſtab gewundenen Draht ſchloß; Watkins endlich erzielte daſſelbe mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette, die er durch einen zuſammengerollten Kupferſtreifen ſchloß. Derſelbe hat auch mit einer maſſiven Thermoſäule von 18 Wismuth-Antimonelementen von 4 Zoll Länge an einem Becquerel'ſchen- oder Luftthermometer bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. (Nobili in Pogg. Ann. 14. 161; Botto ebend. 28. 238; Wheatſtone ebend. 41. 160; Watkins in *Phil. Mag.* 11. 399 und 304, 14. 32.)

423. Die Kenntniß der thermo-electriſchen Ströme iſt in theoretiſcher und practiſcher Hinſicht gleich wichtig. Man kann, auf dieſe Kenntniß geſtützt, überall, wo in guten geſchloſſenen Leitern Temperaturunterſchiede Statt finden, mit Grund das Daſeyn electriſcher Ströme annehmen. Namentlich gilt dieſes vom Inneren der Erde, deren Ströme wahrſcheinlich die Kraft des Erdmagnetismus bedingen, und durch die ſtets wandelbare und immer nur auf einen Theil der Erde wirkende Kraft der Sonne hervorgebracht werden müſſen. In einigen Erzgängen hat man das Daſeyn ſolcher Ströme wirklich ſchon nachgewieſen. (Zeitſch. 10. 118.) In practiſcher Beziehung gibt uns die Thermo-Electricität ein treffliches Mittel an die Hand, electr. Ströme von conſtanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen ſolchen zu erzeugen, nur die Temperaturdifferenz einer Kette unveränderlich zu erhalten braucht. Dieſelbe bietet uns auch treffliche Mittel dar, ſowohl ſehr hohe als ſehr niedere Temperaturen, beſonders aber ſehr kleine Temperaturdifferenzen zu meſſen. In der That hat Melloni nur durch den Gebrauch einer empfindlichen Thermoſäule ſeine großen Entdeckungen im Gebiete der ſtrahlenden Wärme machen können. Peltier war nur dadurch im Stande, die Wärmeänderungen in einem von E durchſtrömten Polardrahte ſo beſtimmt zu erkennen, und Becquerel und Brechet konnten durch dieſes Mittel Aenderungen in der Temperatur der Pflanzen erkennen.

424. Es iſt kein Zweifel, daß in einem lebenden Körper durch den Lebensproceß beſtändig E erregt werde, und große Phyſiologen haben die E als beſtändigen Begleiter der Lebensthätigkeit angeſehen. Die Haare von Katzen, Pferden ꝛc., ja ſelbſt von jungen Perſonen ſind oft ohne äußere Veranlaſſung ſo ſtark electriſch, daß ſie ſträubend in die Höhe ſteigen; Pflanzen ſah man zur Zeit des intenſivſten Lebens Funken geben, ja Pouillet hat ſogar die durch die Vegetation entwickelte E durch mehrere directe Verſuche beſtimmt. Einige Fiſche, wie z. B. der Zitteraal (gymnotus electricus), der Zitterrochen (raja torpedo), der Zitterwels (silurus electricus), der Stachelbauch (tetrodon elect.), der Spitzſchwanz (trichiurus elect.) können gleich einer geladenen Leidnerflaſche Schläge ertheilen, wozu ſie ein eigenes, einer Volta'ſchen Säule ähnliches Organ beſitzen. J.

Davy hat die Identität der E des Zitteraals mit der Reibungs- und Berührungselectricität factiſch nachgewieſen, indem er mittelſt derſelben Stahlnadeln magnetiſirte, die Magnetnadel ablenkte und chemiſche Wirkungen hervorbrachte. In der neueſten Zeit hat man dieſe Unterſuchungen mit Erfolg fortgeſetzt, und Linari hat ſogar durch Anwendung langer ſpiralförmiger oder ſelbſt kurzer aber zuſammengewundener Drähte Funken zu gewinnen gewußt, und mittelſt eines empfindlichen Condenſators Zeichen einer electriſchen Spannung erhalten. Faraday hat alle dieſe Wirkungen beſtätiget gefunden, und überdieß noch durch dieſe E Drähte erhitzt. Der Strom, den ein Zitteraal liefert, geht ſeinen Erfahrungen zu Folge, immer vom Vordertheil des Thieres zum Hintertheil. (Davy in *London and Edinb. Journ. I.*; Humboldt in Pogg. Ann. 37. 239; Colladon ebend. 39. 411; Mateucci ebend. 39. 485; Faraday in *Phil. Mag.* 14. 211.)

425. Es ſind nun alle Electricitätsquellen unterſucht, und die Geſetze, nach denen ſie ſich wirkſam zeigen, näher erörtert worden. Schon ein oberflächlicher Ueberblick zeigt, daß Reibung, Berührung, Induction, Wärme und der Lebensproceß die Hauptquellen ſeyen, daß man es daher im Allgemeinen mit der Reibungs- oder gemeinen, mit der Volta'ſchen-, der thieriſchen, der Magneto- und der Thermo-Electricität zu thun habe. Alle dieſe befolgen aber dieſelben Geſetze, zum Beweiſe, daß alle von derſelben inneren Natur ſeyen. Insbeſondere hat man von allen dieſen phyſiologiſche Wirkungen, Ablenkung der Magnetnadel, Magnetiſirung, Funken, Temperaturerhöhung und wahre electr. chemiſche Wirkungen erfahren. Anziehung und Abſtoßung ſind zwar bei der Thermo-Electricität noch nicht angetroffen worden, allein dazu gehört eine electriſche Spannung, die bei einem ſo ungehinderten Strome, wie ihn ungleichförmig erwärmte Metalle liefern, nicht wohl vorkommen kann, und ſomit darf dieſe kleine Lücke keinen Grund abgeben, die Thermo-Electricität von der durch die übrigen Quellen gelieferten zu ſondern, und ſie als beſonderes Agens zu betrachten. Dabei iſt aber die Exiſtenz verſchiedener electriſchen Ströme, analog den verſchieden transmiſſionsfähigen Wärme- und den verſchiedenfarbigen Lichtſtrahlen, nichts weniger als unwahrſcheinlich.

Intereſſant wäre es, die zu den verſchiedenen Wirkungen electriſcher Ströme nöthigen relativen Intenſitäts- und Quantitätsgrößen zu kennen, allein zu dieſem Ende iſt bis jetzt nur ſehr wenig geſchehen. Pouillet fand, daß die Intenſität des Stromes einer Volta'ſchen Säule von 12 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer 113924mal ſo groß iſt, als die eines Wismuthkupferelementes, das durch eine Temperaturdifferenz von 1° angeregt wird, und durch einen 21 Meter langen Bogen 1 M. dicken Kupferdrahtes geht. Nach Poggendorff hielt der Strom einer magnetiſchen Rotationsmaſchine bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde drei Zinkkupferplatten einer Volta'ſchen Säule das Gleichgewicht. Nach Faraday braucht man zur Zerſezzung von 1 Gran Waſſer ſo viel Electricität, daß man damit einen Platindraht von $^1/_{104}$ Z. Dicke in der Luft durch $3^3/_4$ M. roth glühend

erhalten, oder daß man mit derſelben eine Batterie laden könnte, die 800,000mal größer iſt, als eine ſolche, die man durch 30 Umdrehungen einer ſehr kräftigen Scheibenmaſchine zu entwickeln vermag, und die demnach das größte Thier zu tödten im Stande wäre.

426. Es ſind nun die Geſetze der Electricität ſo vollſtändig, als es dem Zwecke dieſes Werkes angemeſſen iſt, erörtert worden. Schon eine oberflächliche Ueberſicht läßt den innigen Zuſammenhang zwiſchen Electricität und Magnetismus nicht verkennen, und die Ampère'ſche Anſicht, daß der Magnetismus überhaupt das Reſultat electriſcher Ströme ſey, die um die kleinſten Körpertheile circuliren, als ſehr wahrſcheinliche Hypotheſe gelten. Gegen die Möglichkeit ſolcher Ströme in ſo guten Leitern, wie Magnete ſind, kann man nichts einwenden, ſeitdem man an ungleich erwärmten Metallen ſolche Ströme factiſch nachgewieſen hat, und auch weiß, daß ſelbſt das ſogenannte Gleichgewicht der Wärme nur in einer Gleichheit des Ab- und Zufluſſes der Wärme beſtehe, ein eigentlicher ſtatiſcher Zuſtand der Wärme aber gar nicht exiſtire. Ueber das Weſen eines electriſchen Stromes ſelbſt kann man nicht mehr mit Sicherheit behaupten, als daß er von einer Bewegung begleitet ſey, wobei das Bewegliche die Lage des Gleichgewichtes nur wenig verläßt, und überhaupt als das Reſultat der Molecularkräfte der Körper betrachtet werden könne. Die Annahme eines electriſchen Fluidums eigener Natur iſt nur ein Mittel, den Verlauf der electriſchen Erſcheinungen unſerem Vorſtellungsvermögen etwas näher zu bringen, und dürfte wohl außer dieſem keinen objectiven Grund für ſich haben. Die Phänomene des electriſchen Stromes überhaupt, ſeines Durchganges durch verſchiedene Körper, und der nicht mehr zweifelhafte Widerſtand, den er beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes erfährt, ſind der Annahme, daß auch der Electricität Schwingungen des Aethers oder der kleinſten Körpertheile zum Grunde liegen, gar nicht ungünſtig; eine Annahme, die ganz gewiß auch noch das für ſich hat, daß ſie die vier großen Mächte der phyſiſchen Welt, Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität auf eine gemeinſchaftliche Quelle zurückführt. Ueber dieſen Abſchnitt ſiehe nebſt den ſchon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Electricität. Leipzig 1758. Verſuche über die Electricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundſätze der Electricität. Leipzig 1789. Dondorf's Lehre von der Electricität. Erfurt 1784. Practiſche Electricitätslehre von Langenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Electricität und Electrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Electricitätslehre von Leſchan. Wien 1826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thieriſchen Electricität. Prag 1793. Volta's Schriften über die thieriſche Electricität. Prag 1793 und 1796. Volta's neueſte Verſuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer. Berlin 1797—99. Der Proceß der galvaniſchen Kette von G. F. Pohl. Leipzig 1826. Die galvaniſche Kette,

mathematiſch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. *Saggio di esperienze eletro-metriche del D. St. Marianini. Venezia* 1822. Maßbeſtimmungen über die galvaniſche Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. *Memorie ed osservationi dal cav. L. Nobili. Firenze.* 1834. *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme etc. par M. Becquerel. Paris* 1834 — 1837.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerſcheinungen zur Kenntniß der Naturgeſetze geleitet wird, und alſo jene vorzugsweiſe zur Entdeckung dieſer gebraucht werden; eben ſo kann man auch die einmal klar erkannten Naturgeſetze wieder benützen, um daraus Naturerſcheinungen zu erklären. Vorzüglich intereſſant iſt dieſes, wenn man die bereits bewieſenen Geſetze der Sinnenwelt auf die Erſcheinungen anwendet, welche im Großen auf unſerer Erde, in der Atmoſphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Dieſe Erſcheinungen, auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenſtand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die phyſiſche Geographie, Meteorologie und Aſtronomie zerfällt, wovon es die erſte mit der Beſchaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erſcheinungen in der Atmoſphäre, und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortſchritte, welche man bis jetzt in dieſen ſehr wichtigen Zweigen des menſchlichen Wiſſens gemacht hat, ſind ſehr ungleich. Die Aſtronomie hat ſich auf den Flügeln der mathematiſchen Analyſe zu einer ſolchen Höhe und Vollkommenheit erhoben, daß ein vollſtändiger Unterricht hierin allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunſtgriffen der Mathematik ausgerüſtet ſind; die phyſiſche Geographie und Meteorologie liegen hingegen faſt noch in der Wiege, und erwarten erſt von der reinen Naturlehre Wachsthum und Gedeihen.

Erſter Abſchnitt.
Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel.
Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erſcheint die Erde im ſogenannten platten Lande als eine horizontale Ebene, und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt, und an welchem ſich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle dieſe Himmelskörper ſcheinen von uns gleich weit entfernt zu ſeyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdiſcher Gegenſtände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlaſſen, und wir daher keinen Grund zu haben glauben, einen näher als den anderen anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die Himmelskugel oder Himmelsſphäre.

4. Wer bloß nach ſinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden, zu meinen, die Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere Hälfte von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern ſieht. Allein ſchon die ſehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne ſtark beſchienenen Orte gar nicht geſehen wird, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne bloß wegen des unzählige Male ſtärkeren Sonnenlichtes nicht ſehen; darin wird man noch mehr durch den Umſtand beſtärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen überſäet iſt, wovon nach Sonnenaufgang kaum einer mit freiem Auge bemerkt wird. Zur vollen Gewißheit iſt dieſe Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelſt eines guten Fernrohrs ſelbſt bei hellem Tage Sterne ſehen kann.

5. Die Erſcheinungen, welche wir täglich an Sonne und Mond bemerken, nämlich, daß ſie an einer Himmelsgegend, die man Aufgangsgegend, Orient, Oſt nennt, auf- und an der entgegengeſetzten, welche Abend, Untergang, Occident, Weſt heißt, untergehen, bieten ſich uns auch an den Sternen dar, bis auf einige wenige, die nur eine ſcheinbare Ausnahme von dem allgemeinen Geſetze machen, ſo daß die Bewegung von Oſt nach Weſt dem ganzen Himmel gemein iſt. Sie heißt tägliche Bewegung, weil ein Tag von einem Auf- oder Untergange bis zum nächſt folgenden verfließt.

6. Unter den Sternen gibt es einige, die immer an demſelben Punkte des Horizontes auf- und untergehen, und beſtändig dieſelbe Lage gegen einander beibehalten, ſo daß man erſt nach einer Reihe von Jahren eine kleine Aenderung ihrer relativen Lage bemerkt. Dieſe heißen Fixſterne (stellae fixae); ſie machen bei weitem den größten Theil der ſichtbaren Himmelskörper aus. Andere hingegen gehen faſt täglich an einem anderen Punkte der Oſtgegend auf, beſchreiben bald größere, bald kleinere Bögen, und ändern ihre Lage gegen einander und gegen die Fixſterne. Dieſe heißen Irrſterne, Planeten (planetae). Von beiden verſchieden ſind die Kometen (cometae), welche meiſtens einen lichten Schweif oder Ring um ſich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erſcheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinſtimmen; die Folge wird aber lehren, daß ſie doch nicht zu den Planeten zu zählen iſt, weil dieſe Uebereinſtimmung nur ſcheinbar iſt.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♁, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Veſta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ⛢, nebſt 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn ſieben und Uranus ſechs hat. Der vorletzte Planet iſt überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentriſchen Theilen beſteht. Uranus ward 1781 von Herſchel, Ceres 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding, Veſta 1807 von Olbers entdeckt, die übrigen waren ſchon den Alten bekannt. — Es iſt aus dem Vorhergehenden klar, daß die Planeten nebſt der dem ganzen Himmel gemeinſchaftlichen täglichen Bewegung auch noch eine eigene haben müſſen. Man nennt ſie ihre jährliche Bewegung. Sie ſind der Erde ohne Vergleich näher als die Fixſterne, und erſcheinen im Geſichtsfelde guter Fernröhre als vollkommene Scheiben; an den meiſten bemerkt man ſogar Flecken, die ihre Lage gegen den Rand der Scheibe verändern, und darum auf eine Axendrehung ſchließen laſſen.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunkt ankommt, von dem man ſie beobachtet; ſo muß zuerſt der Ort der Erde in der Himmelsſphäre näher beſtimmt werden. Zu dieſem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der Abſtand zweier fixen Punkte an der Himmelsſphäre, z. B. zweier Fixſterne, von einander von derſelben Größe erſcheint, dieſe Punkte mögen gerade auf- oder untergehen, oder ſich in was immer für einer Lage zwiſchen dem Auf- und Untergange befinden, und deutet hierdurch an, daß der Punkt, für welchen dieſes Statt findet, als Mittelpunkt der Himmelsſphäre an-

geſehen werden könne. Da dieſes von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt, und zwei Fixſterne überall einen gleichen Abſtand von einander zu haben ſcheinen; ſo muß auch jeder Punkt der Erde als Mittelpunkt der Himmelsſphäre angeſehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelsſphäre verſchwinden.

9. Jeder Punkt der Himmelsſphäre beſchreibt, vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages, einen ganzen Kreis. Iſt die Lage dieſes Kreiſes beſtimmt und zugleich bekannt, in welchem Punkte derſelben ſich ein Stern befindet, den man als fixen Punkt der Himmelsſphäre betrachten kann, wie dieſes mit den Fixſternen der Fall iſt; ſo iſt die tägliche Bewegung dieſes Sternes gegeben. Zu dieſem Behufe muß man, im Einklange mit dem gewöhnlichen Verfahren der Geometrie, jeden Punkt des Himmels auf ſo viele Coordinaten beziehen, als zur völligen Beſtimmung der Lage des Punktes erforderlich ſind. Weil hier alle Punkte gleichſam an der Himmelsſphäre erſcheinen, mithin dieſe ſelbſt ſchon eine Coordinate erſetzt, ſo bedarf man nur noch zweier Ebenen, oder weil dieſe die Himmelsſphäre in Kreiſen ſchneiden, zweier Kreiſe. Dieſe Ebenen oder Kreiſe wird man am beſten durch die tägliche Bewegung ſelbſt beſtimmen.

10. Stellt ſich der Beobachter ſo, daß ſeine rechte Seite nach Oſt, ſeine linke nach Weſt gerichtet iſt; ſo ſieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, ſo bemerkt man, daß einige nie untergehen, ſondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beſchreiben. Dieſer Kreis iſt deſto größer, je näher der Stern bei ſeiner tiefſten Stellung dem Geſichtskreiſe kommt. Man nennt ſolche Sterne Circumpolarſterne. Hieraus kann man wohl ſchließen, daß auch die andern Sterne, welche auf- und untergehen, einen ganzen Kreis beſchreiben, und daß ein Theil desſelben nicht für uns ſichtbar ſey, weil er unter dem Horizonte liegt; alles dieſes wird erſt zur vollen Gewißheit, wenn man beobachtet, daß Sterne, die nur kurze Zeit unſichtbar ſind und unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarſternen werden, wenn man ſich näher nach Norden begibt, während andere, die nach Süden zu liegen und in unſeren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte verweilen, ganz unſichtbar werden. Reiſet man in ſüdlichere Länder, ſo erfährt man das Gegentheil; da verſchwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz, und ſüdlich liegende, uns ganz unſichtbare, werden ſichtbar; ja in Südamerika und in vielen anderen ſüdlichen Gegenden gibt es Circumpolarſterne, die bei uns gar nie aufgehen.

11. Weil die Fixſterne immer in derſelben Lage gegen einander bleiben, ſo müſſen ſie bei der täglichen Bewegung Kreiſe beſchreiben, deren Ebenen mit einander parallel ſind, und deßhalb Parallelkreiſe heißen. Die ganze Bewegung geſchieht um eine gemeinſchaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt, und in unſeren Gegenden gegen den Horizont geneigt erſcheint. Die Punkte

der Himmelsſphäre, welche die Axe trifft, heißen die Pole, und zwar der gegen Norden liegende, der Nordpol, der andere der Südpol. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte, und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinſten Parallelkreis beſchreibt, und deßhalb auch Polarſtern genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt Aequator, der Punkt am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt Zenith, der ihm gerade entgegengeſetzte, Nadir. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene heißt Mittagsebene. Sie theilt den Bogen, den die Sterne über dem Horizonte beſchreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben ſie den größten und kleinſten Abſtand vom Horizont, d. i. die größte und kleinſte Höhe. Iſt ein Geſtirn im Meridiane, ſo ſagt man, es culminire. Der Durchſchnittspunkt des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der Südpunkt. Sonſt heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein Abweichungskreis. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunkt der Himmelsſphäre geht, und mit dem Aequator einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ einſchließt, heißt Ecliptik, und ein auf der Ecliptik ſenkrechter und durch einen Pol derſelben gehender Kreis wird Breitenkreis genannt. Die Ecliptik ſowohl als die Aequatorialebene ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen, und dieſe beiden Kreiſe ſchneiden ſich ſelbſt wieder in zwei Punkten. Einer davon heißt Frühlingsnachtgleichepunkt, der andere Herbſtnachtgleichepunkt. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunkt gehende Abweichungskreis wird als der erſte Abweichungskreis angeſehen. Eine auf dem Horizonte ſenkrechte Ebene heißt Verticalebene. Sie ſowohl als der Horizont ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen. Der Horizontalkreis führt den Namen Azimuthalkreis.

Stellt (Fig. 359) C den Ort eines Beobachters vor, CZ die durch C gehende Verticale, Z ſein Zenith, Hh den Horizont, P den Nordpol, p den Südpol, Pp die Weltaxe, Aa eine durch C gehende, auf Pp ſenkrechte Ebene; ſo iſt Aa die Ebene des Aequators, PapA die des Meridians, und die mit Aa parallelen Kreiſe Bb, Dd, Ee, Ff, Gg, Kk, Ll, Parallelkreiſe, wovon Ff und Ee ganz über dem Horizonte liegen, während andere ſolche Kreiſe vom Horizonte geſchnitten werden, ſo daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erſtere Theile heißen Tagbögen, letztere Nachtbögen. Mm iſt die Ecliptik, V der Frühlingsnachtgleichepunkt, PN ein Stück eines Breitenkreiſes, HPh iſt zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieſer Kreiſe, wohl auch alle kann man an einer Ringkugel oder an einer künſtlichen Himmelskugel vorſtellen.

12. Zur Beſtimmung eines Punktes am Himmel dienen mehrere der genannten Ebenen und Kreiſe, und zwar: 1) Ein Abweichungskreis und der Aequator. 2) Ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis). 3) Ein Breitenkreis und die Ecliptik. Bevor man zur Beſtimmung einzelner Punkte ſchreitet, müſſen aber dieſe Ebenen und Kreiſe ſelbſt beſtimmt ſeyn.

13. Den genaueſten Beobachtungen gemäß iſt die tägliche Bewegung eine gleichförmige; daher müſſen die zwei Theile eines Parallelkreiſes, welche zu beiden Seiten des ihn ſchneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, welches ſich um eine horizontale Axe drehen kann, ſo, daß ein in der Axe des Rohres vertical geſpannter, ſehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarſternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; ſo bewegt ſich dieſes Fernrohr im Meridiane und dieſer iſt daher ſeiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr ſo zu ſtellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein Mittagsrohr oder Paſſageinſtrument, und ſpielt in der practiſchen Aſtronomie eine große Rolle. Im Geſichtsfelde dieſes Fernrohres ſind mehrere ſehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgeſpannt, wovon einer horizontal ſteht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von dieſen befindet ſich genau in der Ebene des Meridians, die anderen ſind in gleichen Abſtänden von dieſem zu beiden Seiten angebracht. Mittelſt eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel beſtimmen, den die Axe des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltaxe, und iſt daher in ihr durch den Winkel gegeben, den ſie mit dem Horizonte macht, und den man Polhöhe nennt. Er iſt gleich der halben Summe aus der größten und kleinſten Höhe eines Circumpolarſternes. In Fig. 359 iſt PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemeſſen, ferner Fh die größte, fh die kleinſte Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$. Iſt einmal die Polhöhe bekannt, ſo braucht man zur Beſtimmung der Lage des Aequators nur den Winkel zu kennen, den dieſer mit dem Horizonte macht. Er heißt die Aequatorshöhe, und iſt das Complement der Polhöhe. In Fig. 359 ſtellt ACH dieſen Winkel vor, für welchen man hat: $ACH = hCa = PCa - PCh = 90^\circ - PCh$. Es iſt demnach der Aequator und daher auch jeder darauf ſenkrechte Kreis durch das Vorausgegangene beſtimmt. Die Beſtimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene iſt für ſich klar, und von der Beſtimmung der Ecliptik wird in der Folge die Rede ſeyn.

14. Ein Punkt am Himmel iſt beſtimmt, wenn man ſeinen Abſtand von zwei der vorhergehenden zuſammengehörigen Ebenen (Kreiſen) kennt. Es iſt aber dieſer Abſtand nicht als gerade Linie, ſondern als Kreisbogen zu verſtehen. Weil nun von den zwei Kreiſen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punkt beſtimmen kann, einer auf dem anderen ſenkrecht ſteht; ſo wird ſtets der Abſtand eines Punktes von einem dieſer Kreiſe durch einen Bogen des anderen gemeſſen werden. Der Abſtand eines Punktes vom Aequator heißt ſeine Abweichung, der Abſtand vom erſten Abweichungskreiſe ſeine gerade

Aufſteigung. Die Abweichung iſt nördlich oder ſüdlich, je nachdem ſich der fragliche Punkt in der nördlichen oder ſüdlichen Halbkugel befindet. Der Abſtand eines Punktes vom Horizonte heißt deſſen Höhe, der Abſtand vom Höhenkreiſe, welcher durch den Südpunkt geht, ſein Azimuth. Der Abſtand von der Ecliptik heißt die Breite, der Abſtand vom Breitenkreiſe, der durch den Frühlingsnachtgleichepunkt geht, ſeine Länge. Man kann jede dieſer Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zuſammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichſten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufſteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punktes beobachtet, und davon die Aequatorshöhe abzieht. Iſt z. B. B (Fig. 359) dieſer Punkt, ſo iſt HB ſeine Mittagshöhe, HA die Aequatorshöhe und $BH - AH = BH$ ſeine Abweichung. Um die gerade Aufſteigung x zu beſtimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwiſchen den Culminationen des Punktes, um den es ſich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunktes vergeht, und dann ſo geſchloſſen: Da in 24 Stunden 360° des Aequators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; ſo müſſen in der Zeit t durch denſelben x^0 gehen, und man hat $x = 15\,t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemſten mittelſt eines Theodolithes. Dieſer beſteht aus zwei concentriſchen, horizontalen Kreiſen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieſes Inſtrument ſo, daß der Nullpunkt des horizontalen Kreiſes in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunkt des verticalen mit der horizontalen Axe des Fernrohrs in einerlei Höhe liegt; ſo ſchneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohrs der Index am horizontalen Kreiſe das Azimuth, der am verticalen die Höhe jenes Punktes ab, den man in der Mitte des Geſichtsfeldes des Fernrohrs ſieht.

Drittes Kapitel.

Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erſcheinungen, die ſich nicht anders erklären laſſen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex ſey. Die vorzüglichſten dieſer Erſcheinungen ſind folgende: Wenn man von Weſt nach Oſt reiſet, ſo bemerkt man, daß die Sonne immer deſto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer ſolchen fortgeſetzten Reiſe kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu ſeyn. Begibt man ſich von Süden weiter nach Norden, ſo erhebt ſich der Nordpol im Verhältniſſe zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere

Sterne Circumpolarſterne, während am ſüdlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu ſtehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Vorzüglich gehört hierher die Art, wie ſich entfernte Gegenſtände zur See oder in großen Ebenen zeigen, wenn man ſich ihnen nähert, und wenn man ſich von ihnen entfernt. So z. B. erblickt man an einem fernen Schiffe, dem man ſich nähert, zuerſt nur den oberſten Theil des Maſtbaumes, und wenn ſich ein Schiff entfernt, ſo verliert ſich zuerſt der unterſte Theil aus dem Geſichtskreiſe. — Was es für eine Krümmung ſey, die der Erde zukommt, iſt durch alle dieſe Gründe noch nicht ausgemacht. Wie ſie aber immer beſchaffen ſeyn mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß die Erde einer Kugel ſehr nahe kommt, weil ihr Schatten bei Mondesfinſterniſſen immer kreisrund erſcheint. Berge und Erhabenheiten, die ſich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieſes nicht umſtoßen, weil ſie gegen die Größe der Erde ganz verſchwinden, ſo, daß die höchſte Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform ſo wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmeſſer.

18. Die Erſcheinungen der täglichen Bewegung laſſen ſich auf eine zweifache Art erklären. Entweder bewegen ſich wirklich alle Fixſterne in 24 St. von Oſt nach Weſt um die Erde, oder es dreht ſich die Erde in derſelben Zeit von Weſt nach Oſt um ihre Axe. Der Sinn des Geſichtes kann hierin eben ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenſtände aufwärts gehen. Es müſſen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung ſprechen.

19. Schon der Umſtand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig ſehr kleinen Körpers die Erſcheinungen eben ſo hervorbringt, wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Maſſen, muß die Axendrehung der Erde wahrſcheinlich machen; aber noch mehr muß dieſe Wahrſcheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieſer Körper in Betrachtung zieht. Es iſt gewiß, daß der nächſte Fixſtern wenigſtens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmeſſern hat. Geht er in 24 St. um die Erde, ſo muß er einen mehr als ſechsmal größeren Kreis beſchreiben, und daher eine Geſchwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000mal übertrifft. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, ſo darf jeder Punkt des Aequators nur 5400 geogr. Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geſchwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles iſt. Zu dieſem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß dieſe ſogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum ſoll gerade die Erde von dieſem Geſetze ausgenommen ſeyn?

20. Die Wahrſcheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechaniſcher Gründe zur völligen Gewißheit erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunkt in der Erde liegen müßte. Was ſollte aber das für eine Kraft

in der Erde ſeyn, die ſich ſo weit erſtreckte, und im Stande wäre, die ungeheuren Maſſen mit ſo großer Geſchwindigkeit herumzutreiben? wie ließe es ſich erklären, daß durch dieſe Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß ſehr verſchieden iſt, in derſelben Zeit um ſie herumgeführt würden, ſo daß ihre wahre Geſchwindigkeit im Verhältniſſe mit der Entfernung wüchſe, während alle anderen Kräfte deſto ſchwächer werden, je weiter ſich ihre Wirkſamkeit erſtreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper, welche im Aequator ſtehen, ſo große Kreiſe beſchreiben, und daß die Kreiſe gegen die Pole zu immer kleiner werden?

21. Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, ſo muß ſie ſich auch auf die Atmoſphäre erſtrecken. Ihre oberen Theile müſſen ſich ſchneller bewegen, als die unteren, und daher bewirken, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Oſten von der verticalen Linie abweicht. Auch davon überzeugt man ſich durch die Erfahrung, wie vorzüglich Reich's neueſte Verſuche beweiſen. Aus allem dieſen ſieht man, daß man für die Axendrehung der Erde ſo viele Beweiſe hat, daß nur jene noch daran zweifeln können, die überhaupt nicht zu überzeugen ſind.

22. Dieſen Gründen gemäß beſchreibt jeder Punkt der Erde einen Kreis, und nur zwei in einer durch den Mittelpunkt der Erde gehenden, geraden Linie liegende Punkte ſind von dieſer Bewegung ausgenommen. Dieſe Punkte ſind die Pole der Erde, und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengeſetzte der Südpol. Obige gerade Linie heißt die Erdaxe. Die verlängerte Erdaxe ſtellt die Himmelsaxe vor. Demnach iſt letztere durch erſtere beſtimmt. Die Kreiſe, welche einzelne Punkte der Erde bei ihrer Axendrehung beſchreiben, ſind mit einander parallel, und heißen daher mit Recht Parallelkreiſe der Erde. Der größte Parallelkreis iſt der Aequator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators, und dieſer wird, ſo wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe beſtimmt. Man kann nun, dieſes Zuſammenhanges wegen, die bekannte Lage der genannten Linien und Ebenen am Himmel dazu benützen, um die Lage eines Ortes auf der Erde zu beſtimmen. So wie ein Punkt am Himmel durch Abweichung und gerade Aufſteigung beſtimmt wird, eben ſo iſt ein Punkt auf der Oberfläche der Erde durch ſeine Breite und Länge gegeben.

23. Die Breite eines Ortes wird gemeſſen durch den Bogen ſeines Meridians, der zwiſchen ihm und dem Aequator liegt. Sie heißt nördliche oder ſüdliche Breite, je nachdem der Ort dem Nordpole oder dem Südpole näher liegt, und iſt immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es ſey C (Fig. 360) der Mittelpunkt der Erde, wovon A p b B einen durch die Pole gehenden Durchſchnitt vorſtellt, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, A Z ſeine Verticale, A H ſein ſcheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entſprechende Pol am Himmel, B b der Aequator der Erde, mithin A C B die Breite von A. Wegen der gegen die Himmelsſphäre verſchwindenden Größe der Erde

kann man die Richtung A P′, nach welcher P von A aus geſehen wird, mit C P parallel annehmen, und P′A H als die Polhöhe von A anſehen. Unter dieſer Vorausſetzung iſt B C A = P′A H, weil die Seiten dieſer Winkel auf einander ſenkrecht ſtehen.

Dieſer Satz ſetzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreiſe der Himmelsſphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe vorausſagen und angeben zu können, daß dieſe unter dem Aequator auf dem Horizonte ſenkrecht ſtehen, unter dem Pole mit ihm parallel laufen, und daß dieſe Ebenen nur außer den Polen und außer dem Aequator eine ſchiefe Lage gegen den Horizont haben.

24. Die Länge eines Ortes iſt der Winkel, den der Meridian dieſes Ortes mit irgend einem bekannten, als erſten angenommenen Meridiane macht. Sie wird mithin durch den zwiſchen beiden Meridianen gelegenen Bogen des Aequators gemeſſen. Ptolomäus zog ſeinen erſten Meridian durch die canariſchen Inſeln, als die äußerſte, weſtliche Grenze des damals bekannten Continents, und viele nehmen noch heut zu Tage den durch Ferro gezogenen Mittagskreis für den erſten an, aber meiſtens zieht jede Nation durch ihr vorzüglichſtes Obſervatorium ihren Hauptmeridian. Je nachdem ein Ort öſtlich oder weſtlich vom erſten Meridiane liegt, hat er auch eine öſtliche oder eine weſtliche Länge. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß alle Aſtronomen und Geographen denſelben Meridian als erſten annähmen, oder doch einen ſolchen, der durch einen unveränderlichen, immer wieder beſtimmbaren Punkt der Erde geht. Fängt man in zwei Orten, deren Längenunterſchied zu finden iſt, die Zeit mit der Culmination desſelben Sternes zu zählen an; ſo muß der Zeitunterſchied t beider Orte, in demſelben Augenblicke, nach der Proportion $24 : t = 360 : x$ die geſuchte Längendifferenz geben. Deßhalb dienen zur Beſtimmung dieſer Differenz vorzüglich Uhren, die ſich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum anderen tragen laſſen, oder ſolche Phänomene, die in beiden Orten zugleich geſehen werden können, oder bei denen der Zeitunterſchied ihres Erſcheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuerſignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinſterniß oder einer Verfinſterung der Jupiterstrabanten, Sternbedeckungen durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond ꝛc. Liegt einer der beiden Orte im erſten Meridiane; ſo iſt hiedurch zugleich die abſolute Länge des anderen gegeben. Dasſelbe findet Statt, wenn die Länge des einen der beiden Oerter ſchon aus vorläufigen Beobachtungen bekannt iſt. Man braucht daher nur die Länge eines Ortes unmittelbar nach dem erſten Meridiane zu beſtimmen, die Längen der übrigen ergeben ſich, indem man ſtets einen Ort mit einem ſchon früher beſtimmten vergleicht.

25. Wiewohl die Beſtimmung der geogr. Länge und Breite für das feſte Land von der größten Wichtigkeit iſt, weil man dadurch manches ſchon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu beſtimmen vermochte, und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; ſo hat ſie doch für den Seefah-

rer noch größeren Vortheil, indem dieſer dadurch in den Stand geſetzt wird, den Ort ſeines Schiffes in jedem Augenblicke anzugeben, die Sicherheit ſeines Weges und die Zweckmäßigkeit ſeiner Richtung zu beurtheilen. Leider ſind zur See viele Mittel, die man auf dem feſten Lande zur Beſtimmung der Länge anwenden kann, faſt ganz unanwendbar, wiewohl man ſie da am meiſten bedürfte, und man muß oft, wenn Wolken den Anblick der Geſtirne, und hiemit alle Mittel, die der Himmel darbietet, rauben, aus der bloß oberflächlich geſchätzten Geſchwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen, beſonders wenn einem keine genaue Uhr zu Gebote ſteht, die allen Schwankungen des Schiffes und den zur See ſtark einwirkenden äußeren Einflüſſen trotzt. (Siehe: kurze Geſchichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Haſſenkamp. Rinteln 1774. *Zach de vera longitudine et latitudine. Erfurt* 1790.)

26. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand geſetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßſtabe vorſtellt, alle Ortſchaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichſten Projectionsarten für Landkarten ſind folgende:

1. Die orthographiſche, welche entſteht, wenn man ſich an einem Punkte der Erde B (Fig. 361) eine berührende Ebene BC denkt, und von den zu verzeichnenden Punkten der Erdoberfläche a, b, c die auf BC Senkrechten aa′, bb′, cc′, zieht. Iſt der Berührungspunkt ein Pol, ſo heißt dieſe Projection orthographiſche Polarprojection. Da ſind alle Parallelkreiſe wieder Kreiſe in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die ſtereographiſche Projection. Bei dieſer denkt man ſich das Auge O (Fig. 362) in einem Punkte der Kugeloberfläche, welcher dem zu entwerfenden Lande gegenüberſteht, und zieht von dieſem durch die Punkte der Erdoberfläche gerade Linien, bis ſie die Projectionsebene treffen. Bei dieſer Projectionsart erſcheinen alle Kreiſe auf der Kugelfläche wieder als Kreiſe, und dieſe ſchneiden ſich unter denſelben Winkeln wie jene. 3. Die Kegelprojection. Dieſe braucht man zur Darſtellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel abc (Fig. 363) die Kugelfläche in der Zone bdce, ſo erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreiſe de, bc als Kreisbögen von den Halbmeſſern da, ba, und die Meridiane werden gerade in a zuſammenlaufende Linien. — Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreiſe und Meridiane als gerade, ſich unter rechten Winkeln ſchneidende Linien ſo, daß ſie Rechtecke bilden, oder wenn dieſes nicht wohl angeht, ſo vermindert man die Grade der äußerſten Parallelkreiſe im gehörigen Verhältniſſe gegen die der Meridiane, und verbindet dann die Theilungspunkte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken deſto mehr abweichen, je größer der Breitenunterſchied der äußerſten Parallelkreiſe iſt. — Seekarten werden am zweckmäßigſten nach einer Projection entworfen, vermöge welcher die Meridiane und Parallelkreiſe Rechtecke mit einander machen, ſo daß die Grade der Parallelkreiſe einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demſelben Verhältniſſe wachſen, in welchem die Grade der Parallelkreiſe der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt ſie Mer-

cators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während ſie auf der Kugel krumme Linien, ſogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert: Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practiſchen Geometrie. Erlangen 1815. 4 Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretiſche und practiſche Aſtronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

27. Aus der durch obige Gründe bewieſenen Bewegung der Erde läßt ſich ſchon ſchließen, daß ſie keine ſphäriſche Geſtalt haben könne, ſondern an den Polen etwas abgeplattet ſeyn müſſe, wenn ſie ſich ja einmal in einem Zuſtande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entſtandene Fliehkraft mußte die Schwere am Aequator am meiſten vermindern, und daſelbſt eine Protuberanz, an den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Auch der Umſtand, daß der größere Theil der Erdfläche mit Waſſer bedeckt iſt, und dieſes den bewegenden Kräften leicht folgt, läßt auf das Vorhandenſeyn der abgeplatteten Geſtalt der Erde ſchließen. Man iſt ſogar im Stande, die Größe der Abplattung der Erde bloß aus der bei ihrer Axendrehung entſtehenden Fliehkraft oder aus der Wirkung, die der Mond auf die Erde wegen ihrer Abplattung ausübt, zu berechnen. Sie läßt ſich aber auch durch Meſſungen der Meridiangrade in verſchiedenen Breiten und durch Beobachtung der Pendellänge an verſchiedenen Orten finden. Zum Behufe der Gradmeſſungen wird zuerſt der Unterſchied der Polhöhe zweier Oerter beſtimmt. Da dieſer die Größe des dazwiſchen gelegenen Bogens des Meridians in Graden angibt; ſo kann man, wenn er geometriſch nach Klaftern beſtimmt iſt, hieraus auf die Größe eines Grades ſchließen. Dieſe Meſſungen, auf ſolche Art vorgenommen, zeigen bald, daß die Meridiangrade in verſchiedenen Breiten eine verſchiedene Größe haben und mit der Breite zunehmen, mithin daß die Erde an den Polen abgeplattet ſey. Nimmt man nun an, die Erde ſey ein durch Umdrehung einer Ellipſe entſtandenes Sphäroid, ſo reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterſchied zwiſchen der großen und kleinen Axe der Ellipſe, d. i. die Differenz zwiſchen der Axe des Aequators und jener des Meridians an den Polen der Erde zu beſtimmen. Man nennt dieſen Unterſchied, in Theilen der durch die Pole gehenden Axe ausgedrückt, die Größe der Abplattung oder die Ellipticität der Erde. Indeß ſind die bei den Gradmeſſungen ſo leicht zu begehenden Beobachtungsfehler ſo zahlreich, daß es wohl zu gewagt ſcheint, alles bis ins kleinſte Detail für wahr zu halten, was daraus folgt; ja ſelbſt bei völliger Fehlerloſigkeit der Meſſungen kann ſchon der Umſtand die daraus gemachten, auf die ganze Erde ausgedehnten Folgerungen ſehr verdächtig machen, daß die Geſtalt einzelner Unregelmäßigkeiten der Oberfläche der Erde, welche in die gemeſſenen Grade fallen, von einem elliptiſchen Sphäroide abweicht. — Um die Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen abzuleiten, muß man die Länge des Secundenpendels an Orten von ſehr verſchiedener Breite beſtimmen, von dieſer das

Verhältniß der Schwere in dieſen Stationen ableiten, und aus dieſem Verhältniſſe auf das der Entfernung der Stationen vom Centrum der Erde ſchließen. Wenn man die Reſultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmeſſungen und Pendelbeobachtungen mit einander vergleicht; ſo findet man leider ſo große Differenzen, daß man die Aufgabe noch keinesweges für vollkommen gelöſt halten darf. Aus der Größe der Fliehkraft folgt nach Ivory eine Abplattung von $\frac{1}{289}$; aus aſtronomiſchen Beſtimmungen $\frac{1}{296.1}$, aus den Gradmeſſungen (nach Laplace) im Mittel $\frac{1}{306}$, und aus den Pendelbeobachtungen (nach Sabine) $\frac{1}{289.1}$. Unter allen dieſen verdient das aus Pendelbeobachtungen abgeleitete Reſultat das meiſte Zutrauen.

28. Nimmt man die Abplattung von $\frac{1}{289.1}$ vor der Hand als richtig an; ſo erhält man folgende Größen, welche die Geſtalt und Dimenſionen der Erde näher beſtimmen:

Halber Durchmeſſer des Aequators	= 3271952	Toiſen.
Halbe Axe	3260634	»
Halbmeſſer für 45°	3266260	»
Halbmeſſer eines Kreiſes, der mit dem Meridiane von gleicher Größe iſt	3266295	»
Halbmeſſer einer Kugel von gleichem Inhalte mit dem Erdellipſoide	3268175	»
Länge eines Meridianquadranten	1347.667	Meil.
Kubikinhalt der Erde nahe	2650686000	K. M.

(Brandes in Gehler's Wörterbuch B. 3. S. 832 u. f.)

29. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelsſphäre verſchwindet, und daher der ſcheinbare Ort eines Punktes dieſer Sphäre von dem Standpunkte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig iſt; ſo iſt doch ein Erdhalbmeſſer nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verſchwindend klein, und es hängt der ſcheinbare Ort dieſer Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpunkte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt A B (Fig. 364) einen Durchſchnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte A und B geht, a b c den Durchſchnitt der Himmelsſphäre, an welcher uns die Himmelskörper erſcheinen; ſo wird ein Stern S von A aus geſehen in s′, von B aus geſehen in s erſcheinen. Der Winkel A S B, den die Geſichtslinien A S und B S in S machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinſtimmende Reſultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verſchwindet, auf den Ort, wo ſie vom Mittelpunkte der Erde aus erſcheinen. Iſt C (Fig. 364) der Mittelpunkt der Erde und eines Durchſchnittes derſelben, welcher in einer durch den Stern S′ und den Beobachtungsort A gehenden Verticalebene liegt; ſo erſcheint S′ von C aus geſehen im Punkte s″ der Himmelsſphäre; mithin muß die ſcheinbare Höhe des Sternes um die Parallaxe A S′ C vermehrt werden, damit man ſeine wahre Höhe finde. Daß dieſe Parallaxe immer kleiner werde, je mehr ſich S′ dem Scheitelpunkte nähert, und daß ſie im

Zenith ſelbſt verſchwinde, iſt klar. Aehnliche Correctionen müſſen auch an der Abweichung und geraden Aufſteigung eines ſolchen Geſtirnes angebracht werden, um ſie vom Einfluſſe des Standortes auf der Erde zu befreien.

30. Man hat verſchiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die deſto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde ſteht. Um aber die Parallaxe vom Einfluſſe der Höhe des Geſtirnes, bei dem ſie gefunden wurde, zu befreien, muß man ſie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizonte hat. Iſt $ASC = h$ die Horizontalparallaxe des Sternes S, $AS'C = a$ die Höhenparallaxe desſelben Sternes S′, $AC = r$ der Erdhalbmeſſer; ſo hat man: $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin, weil $SC = S'C$ iſt,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

31. Die Parallaxe eines Geſtirnes S dient oft zur Beſtimmung ſeiner Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und ſeiner Größe. Denn im Dreiecke ASC iſt $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man ſich einen Beobachter in S, ſo erſcheint ihm der Halbmeſſer der Erde AC unter dem Winkel $ASC = h$. Beſtimmt man nun den ſcheinbaren Halbmeſſer ρ des Geſtirnes von der Erde aus geſehen, ſo muß er ſich zu ſeiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmeſſer des Geſtirns R zum Halbmeſſer der Erde r, oder es iſt $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h} r$ und für $r = 1$ wird $R = \frac{\rho}{h}$.

Ueber dieſes Kapitel ſiehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematiſchen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathematiſche Erdbeſchreibung von Hochſtetter. Stuttgart 1820. *La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris* 1787—1788. Lehrbuch der math. und phyſiſchen Geographie von Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der math. und phyſiſchen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als 2ter Theil ſeines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

32. Schon der Umſtand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne ſchmücken, und daß erſt nach einem Jahre wieder dieſelben zum Vorſcheine kommen, zeigt, daß der Sonne nebſt der tägli-

chen Bewegung, die ſie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müſſe; allein noch mehr überzeugt man ſich davon und zugleich von der Richtung dieſer Bewegung, wenn man einen Fixſtern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein ſolcher Fixſtern mit der Sonne zugleich aufgeht, ſo wird man bald bemerken, daß erſterer ſchon nach einigen Tagen der Sonne gleichſam vorauseile, nach ungefähr drei Monaten ſchon culminire, wenn dieſe aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe, und daß erſt nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieſelbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne iſt daher der täglichen entgegengeſetzt.

33. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelsſphäre kennen gelernt, indem man aus der Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterſchiede zwiſchen ihrer Culmination und der eines Fixſternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreiſe ſchloß; denn die Reſultirende beider Bewegungen gibt die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß dieſe Bahn in einer Ebene liege, die den Aequator ſchneidet, und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von 66° 32′ geneigt ſey. Der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Himmelsſphäre gibt einen Kreis am Himmel, der ſchon früher (11) unter dem Namen *Ecliptik* vorkam, und deſſen Neigung gegen den Aequator die *Schiefe der Ecliptik* genannt wird. Die Punkte, wo die Ecliptik den Aequator ſchneidet, ſind ſchon vorhin *Aequinoctialpunkte* genannt worden. Der nördlichſte und ſüdlichſte Punkt der Ecliptik heißt *Solſtitialpunkt*, und zwar jener *Sommerſolſtitialpunkt*, dieſer *Winterſolſtitialpunkt*; die durch ſie gehenden Parallelkreiſe führen den Namen *Wendekreiſe*. Die Parallelkreiſe, in welchen die Pole der Ecliptik liegen, nennt man *Polarkreiſe*. Die Meridane, welche durch die Solſtitial- und Aequinoctialpunkte gehen, heißen *Coluren*. Schon in den älteſten Zeiten hat man die Ecliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon alſo jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche, und führen der Ordnung nach die Zeichen:

♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

34, Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpunkte zum Herbſtäquinoctialpunkte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher ſie von dieſem Punkte zu jenem gelangt; ſo findet man, daß ſie zu erſterem Wege faſt um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es iſt daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn *keine gleichförmige*. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geſchwindigkeit der Sonne in einem Punkte ihrer Bahn am größten ſey, der ſich in der Nähe des Winterſolſtitialpunktes befindet, daß ſie von da an immer kleiner, in einem dem Sommerſol-

ſtitium nahen Punkte am kleinſten werde, und von hier aus gegen erſteren wieder wachſe. Mit der größten Geſchwindigkeit beſchreibt ſie täglich einen Bogen von 1°.0104, mit der kleinſten einen Bogen von 0°.9534, und ihrer mittleren Geſchwindigkeit entſpricht ein Bogen von 0°.9856. Dieſe Aenderungen der Geſchwindigkeit könnten auch ſcheinbar ſeyn, und durch eine Aenderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derſelbe Bogen erſcheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt iſt. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geſchwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme, und daß ihre Entfernung von der Erde wachſe, wenn ihre Geſchwindigkeit im Abnehmen begriffen iſt; denn ihr ſcheinbarer Durchmeſſer, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältniſſe ſteht, nimmt in jenem Falle zu, in dieſem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geſchwindigkeit der Sonne bloß von ihrer Entfernung abhingen, und an und für ſich ihre Geſchwindigkeit beſtändig wäre; ſo müßte ſich ihr ſcheinbarer Durchmeſſer gerade in demſelben Verhältniſſe vermindern, in welchem ihre Geſchwindigkeit kleiner wird. Dieſer nimmt aber in einem zweimal größeren Verhältniſſe ab, als ihre Geſchwindigkeit, und es muß daher die Geſchwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem ſie ſich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß iſt das Product ihrer Entfernung in das Quadrat des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens eine beſtändige Größe.

35. Wenn durch Beobachtungen des ſcheinbaren Durchmeſſers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunktes der Sonne Tag für Tag gegeben iſt; ſo kann man auch Tag für Tag die Lage und Länge des Radius Vectors verzeichnen, und durch die Endpunkte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorſtellen wird. So überzeugt man ſich, daß dieſe Bahn eine Ellipſe iſt, in deren einem Brennpunkte ſich die Erde zu befinden ſcheint. Die Excentricität dieſer Ellipſe iſt ſehr gering, denn die große Axe derſelben beträgt 1.03416, wenn man die kleine = 1 ſetzt. Den Punkt der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum, denjenigen, deſſen Entfernung von der Erde am kleinſten iſt, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Punkte verbindet, oder die große Axe der Ellipſe heißt Abſidenlinie.

36. Die Erſcheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne laſſen ſich ſowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde von Weſt gegen Oſt, als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne von Oſt gegen Weſt erklären. Der bloße Augenſchein kann hier ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müſſen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieſer Bewegungen ſprechen. Dieſe fallen aber alle zu Gunſten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden; ſo muß ſie durch Centralkräfte bewirkt werden,

weil nur dadurch die bei der krummlinigen Bewegung entſtandene Fliehkraft aufgehoben werden kann, und weil die beſchriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt ſind. Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper ſey, als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft beſitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher iſt es, der Sonne dieſe Kraft anzuweiſen, und ſo den kleineren Körper um den größeren ſich bewegen zu laſſen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um dieſen Planeten, weil wir an jedem derſelben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein, abgeſehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit ſich führen würde; ſo geriethe man in directen Widerſpruch mit den unumſtößlichen Geſetzen der Bewegung, während alles im beſten Einklange mit dieſen Geſetzen iſt, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

37. Aus der im Vorhergehenden bewieſenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Aenderungen der Elemente ihrer Bahn, laſſen ſich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt, und die jedes Punktes derſelben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge dieſer Bewegungen beſchreibt jeder Punkt der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Reſultirende der Wege iſt, die er durch jede einzelne Bewegung für ſich zurücklegen würde, und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden iſt, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

38. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechſel von Tag und Nacht, ſo wie überhaupt der Auf- und Untergang der Geſtirne ab. Denkt man ſich einen Halbmeſſer der Erde durch einen Punkt A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelsſphäre verlängert, ſo trifft er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Punkte. Befindet ſich nun in dem Punkte der Himmelsſphäre, welchen er trifft, ein Fixſtern; ſo wird dieſer dem Erdbewohner, der ſeine eigene Bewegung von Weſt nach Oſt nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beſchreiben ſcheinen, der deſto größer iſt, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Iſt dieſer Winkel $= 0$, oder liegt A in einem Pole, ſo wird der Punkt am Himmel zu ruhen ſcheinen, und alſo ein Pol der Himmelsſphäre ſeyn; beträgt jener Winkel $90°$, ſo wird ſeine Bahn am größten, ſie liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixſternes iſt demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt ſie

einen Sterntag und theilt ſie in 24 gleiche Theile, Sternſtunden ab. Jeder Punkt des Aequators beſchreibt in einem ſolchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Par. F. In Punkten außer dem Aequator iſt dieſe Bewegung langſamer, und zwar nach Verhältniß des Coſinus ihrer Breite.

39. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geſchwindigkeit und legen im Durchſchnitte in einem Tage einen Weg von 346836 Meilen, mithin in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Dieſe Bewegung iſt der täglichen der Richtung nach entgegengeſetzt, und daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen ſcheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixſtern dasſelbe thut. Man nennt die Zeit eines ſcheinbaren täglichen Sonnenumlaufes Sonnentag und ſeinen 24ſten Theil eine Sonnenſtunde. Wegen der Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung der Erde iſt der Sonnentag nicht immer gleich lang. Weil dieſes den Geſchäften des bürgerlichen Lebens, die man ſtets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günſtig iſt; ſo nimmt man eine Sonne an, welche ihre jährliche ſcheinbare Bahn in derſelben Zeit zurücklegt, wie die wahre, allein mit ſtets gleicher Geſchwindigkeit und parallel mit dem Aequator. Man nennt ſie die mittlere Sonne, die Zeit ihres Umlaufes mittleren Sonnentag, ihren 24ſten Theil mittlere Sonnenſtunde u.ſ.f. Der Unterſchied zwiſchen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt Zeitgleichung. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Viermal des Jahres fallen die mittlere und wahre Zeit zuſammen, oder die Zeitgleichung iſt = 0. Dieſes geſchieht ungefähr den 11. Februar, 16. Mai, 26. Juli und 1. November. Die größte Zeitgleichung beläuft ſich ungefähr auf 30 M. Ein Sterntag hat 23 St. 56 M. 4.1 S. nach mittlerer Sonnenzeit. Unſere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Aſtronomen laſſen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit, und kann daher mit einer mechaniſchen Uhr nicht immer harmoniren.

40. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des Jahres ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpunkte zurückkehrt, und zwar nennt man dieſes insbeſondere tropiſches Jahr, zum Unterſchiede vom ſideriſchen. Es beträgt 365 T., 5 St., 48 M. und 50.832 S. oder 365.242255 T. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt Schaltjahr; der eingeſchaltete Tag iſt der 23. Februar. Dieſe Zeitrechnung wurde von Julius Cäſar 46 J. vor Chriſti Geburt eingeführt, und heißt deßhalb Julianiſche Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365.25 Tage gerechnet ward, beging man jährlich einen Fehler von 0.007745 T., welcher in 400 Jahren ſchon 3.098 Tage betrug. Dieſer Fehler machte im Jahre 1582 ſchon 10 Tage. Dadurch wurde der Papſt Gregor XIII. beſtimmt, im Jahre 1582 jene 10 Tage wegzu-

laſſen und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläßiget werden. Deßhalb waren ſchon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl ſie der Regel nach Schaltjahre hätten ſeyn ſollen; auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr ſeyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch beſondere Anordnungen geſorgt wäre.

Da nebſt der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen beſteht, ſo bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7} = 52$ Wochen, 1 Tag, und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7} = 52$ Wochen, 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demſelben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächſten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die erſten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchſtaben A, B, C, D, E, F, G und die folgenden wieder nach derſelben Ordnung mit A angefangen; ſo muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres A ſeyn, wenn der erſte A iſt. Der Buchſtabe, welcher auf den erſten Sonntag fällt, heißt *Sonntagsbuchſtabe*. Dem Geſagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchſtabe in verkehrter Ordnung von G nach A jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geſchieht dieſes um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchſtaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, ſo würde derſelbe Sonntagsbuchſtabe alle 7 Jahre zurückkehren; iſt aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, ſo geſchieht dieſes erſt nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Dieſe Periode von 28 Jahren heißt *Sonnenzirkel*. Denſelben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wie vielte dieſer Periode ein gegebenes Jahr ſey. (*Littrow's* Kalendariographie. Wien 1828.)

41. Von beſonders großem Einfluſſe iſt die *Neigung der Erdbahn* gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verſchiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenſtrahlen ab, welche mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung ſtehen, ſo wie die Dauer ihrer Einwirkung. Stände die Erdaxe ſenkrecht auf der Ecliptik, ſo würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in demſelben Orte das ganze Jahr hindurch unter demſelben Winkel einfallen, und daher bei übrigens gleichen Umſtänden auch täglich nahe dieſelbe Erwärmung hervorbringen; allein bei der Einrichtung der Dinge, wo die Erdaxe unter 66° 32′ gegen die jährliche Bahn geneigt iſt, ändert ſich dieſer Winkel täglich. Es ſey z. B. S die Sonne (Fig. 365), E ein Durchſchnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, E′ derſelbe in derjenigen Lage, welche die Erde nach einem halben Jahre einnimmt, Pp die Erdaxe, Aa der Erdäquator, M ein Punkt der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, o und o′ ein anderer, auf den die Mittagsſtrahlen ſchief auffallen, oz und o′z′ ſeine Scheitellinie. Man ſieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage E gleich Soz, in der Lage E′ aber So′z′ iſt, wo offenbar erſterer Winkel kleiner als letzterer iſt. Im aſtronomiſchen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit, während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächſt, *Frühling*; diejenige, wäh-

rend welcher ſie abnimmt, Sommer; diejenige, während welcher die ſüdliche Abweichung wächſt, Herbſt; und endlich jene, während welcher dieſe abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer iſt, herrſcht in der ſüdlichen Winter, während des Herbſtes der nördlichen Hemiſphäre hat die ſüdliche Frühling und umgekehrt. Dieſe Jahreszeiten ſind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig iſt. Jetzt dauert bei uns der Frühling 92 T., 21 St., 16 M.; der Sommer 93 T., 13 St., 52 M.; der Herbſt 89 T., 17 St., 8 M. und der Winter 89 T., 1 St., 31 M. — In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, warum die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu ſagen pflegt, warum es nicht gleich lang Tag iſt. Iſt z. B. C (Fig. 366) ein Punkt der Erde, der die Polhöhe PCH hat, mithin Hh ſein Horizont, Pp die Weltaxe, Aa der Aequator, Bb, Dd, Gg, Kk Parallelkreiſe, welche in q, r, s, t vom Horizonte geſchnitten werden; ſo ſtellen AC, Bq, Dr, Gs, Kt die Theile der Parallelkreiſe vor, welche über dem Horizonte liegen; hingegen Ca, qb, rd, sg, tk diejenigen, welche ſich unter demſelben befinden. Betrachtet man nun die ſcheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig; ſo geben ſolche zwei Stücke des Parallelkreiſes der Sonne das Verhältniß zwiſchen der Dauer von Tag und Nacht für dieſe Zeit an. Hieraus ſieht man, daß Tag und Nacht gleich ſind, wenn ſich die Sonne im Aequator befindet, daß der Tag länger iſt als die Nacht, wenn die Sonne gegen P abweicht, und zwar deſto mehr, je größer dieſe Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß Statt findet, wenn die Sonne gegen p abweicht. Wenn PCH größer wird, ſo ſchneidet auch Hh die Parallelkreiſe in noch ungleichere Stücke; daher muß in derſelben Zeit die Differenz zwiſchen Tag und Nacht deſto größer ſeyn, je größer die Polhöhe eines Ortes iſt. Deßhalb iſt in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = o iſt, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieſer Urſache dauert der längſte Tag in Oertern von großer Polhöhe mehrere Wochen, ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längſten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.				Dauer des längſten Tages.				Polhöhe.				Dauer des längſten Tages.			
8	Grad	34	M.	12	St.	30	M.	54	Grad	31	M.	17	St.	—	M.
16	»	44	»	13	»	—	»	56	»	38	»	17	»	30	»
24	»	12	»	13	»	30	»	58	»	27	»	18	»	—	»
30	»	48	»	14	»	—	»	60	»	0	»	18	»	30	»
36	»	31	»	14	»	30	»	61	»	19	»	19	»	—	»
41	»	24	»	15	»	—	»	62	»	26	»	19	»	30	»
45	»	32	»	15	»	30	»	63	»	23	»	20	»	20	»
49	»	2	»	16	»	—	»	64	»	11	»	20	»	30	»
52	»	0	»	16	»	30	»	64	»	50	»	21	»	—	»

Polhöhe.				Dauer des längſten Tages.				Polhöhe.				Dauer des längſten Tages.	
65	Grad	22	M.	21	St.	30	M.	67	Grad	23	M.	1	Monat.
65	»	48	»	22	»	—	»	69	»	50	»	2	»
66	»	8	»	22	»	30	»	73	»	39	»	3	»
66	»	21	»	23	»	—	»	78	»	31	»	4	»
66	»	29	»	23	»	30	»	84	»	5	»	5	»
66	»	32	»	24	»	—	»	90	»	0	»	6	»

42. Die Elemente der Erdbahn ſind nicht unveränderlich, ſondern alle bis auf die große Axe der Ellipſe unterliegen kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß ſich die Lage der Fixſterne gegen den Aequator alle Jahre ändere, während, ſie gegen die Ecliptik unverändert bleibt. Dieſe Veränderung rührt davon her, daß die Aequinoctialpunkte auf der Ecliptik jährlich um eine gewiſſe Größe von Oſt nach Weſt fortrücken, ſo, daß ſie in 72 Jahren um einen Grad weiter kommen, oder in nahe 26,000 Jahren (platoniſches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es iſt daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, ſie geht in 26,000 Jahren einmal um die Pole der Ecliptik herum. Man nennt dieſe Bewegung das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präceſſion. Aus derſelben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demſelben Fixſterne zurückzukehren, oder daß die tropiſche Umlaufszeit kürzer ſey, als die ſideriſche oder wahre. Letztere beträgt 365.25638 Tage.

43. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen ſchon im Reinen war, bemerkte Bradley doch noch kleine periodiſche Ungleichheiten in der Neigung der Ecliptik gegen den Aequator und in der Präceſſion, die man erklärt, wenn man annimmt, daß ſich die Erdpole nicht in einem Kreiſe bewegen, wie dieſes das Vorrücken der Nachtgleichen allein für ſich fordert, ſondern daß dieſes in einer kleinen Ellipſe geſchehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipſe aber ſelbſt ihren Mittelpunkt im Umfange des Kreiſes hat, der vermöge der Präceſſion beſchrieben wird. Dieſe Bewegung begreift man unter dem Namen der Nutation (Wanken der Axe).

44. Die Schiefe der Ecliptik erleidet zwar ſchon durch die Nutation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein ſelbſt abgeſehen von dieſer Veränderung, unterliegt dieſer Winkel einem periodiſchen Wachſen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieſer Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tauſend Jahre.

45. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen nicht immer in dieſelbe Stelle der Erdbahn, ſondern ſie rücken jährlich um eine kleine Größe in der Ecliptik vor, ſo daß die Erde etwas mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnennähe, als um wieder zu einem Fixſterne zurückzukehren. Erſtere Umlaufszeit heißt anomaliſtiſches Jahr und beträgt 365.259713 Tage. Dieſe Veränderung iſt unter dem Namen:

Bewegung der Abſidenlinie bekannt, und beträgt jährlich 11″.8.

46. Vermöge der Präceſſion und Nutation ändert ſich nur die Lage der Sterne gegen den Aequator und die Ecliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixſternen auch noch eine kleine, periodiſche Aenderung ihrer Lage gegen einander. Um ſich dieſe Bewegung vorzuſtellen, laſſe man jeden Fixſtern jährlich einen kleinen, mit der Ecliptik parallelen Kreis, deſſen Centrum der mittlere Ort des Sternes iſt, und deſſen Durchmeſſer, von der Erde aus geſehen, ungefähr 20″ beträgt, eben ſo beſchreiben, wie die Sonne ſich in der Ecliptik bewegt, jedoch ſo, daß dieſe immer um 90° voraus iſt. Dieſer Kreis erſcheint am Himmelsgewölbe als Ellipſe von größerer oder kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ecliptik entfernt iſt. In der Ecliptik ſelbſt geht dieſe Ellipſe in eine gerade Linie über. Dieſes Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, ſondern in einer Bewegung außer den Geſtirnen ſeinen Grund habe, läßt ſich ſchon aus der allen Sternen gemeinſchaftlichen Größe des Kreiſes vermuthen, der nur durch ſeine Projection auf die Himmelsſphäre eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe erzeugt. Da überdieß alle dieſe Kreiſe mit der Ecliptik parallel liegen und der Ort des Sternes in dieſem Kreiſe in ſo genauer Verbindung mit dem der Sonne ſteht; ſo bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieſer Erſcheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß ſich alles bis auf die kleinſten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erſcheinungen bewieſene, ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zuſammenſetzt. Wie dieſes geſchieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es ſey S (Fig. 367) ein Stern, der dem Beobachter A einen Strahl SA zuſendet, längs welchem das Licht in einer gegebenen Zeit von A aus den in der Verlängerung von SA befindlichen Weg AB zurücklegt. Bewegt ſich der Beobachter und legt er in derſelben Zeit den Weg AC zurück, ſo wirkt das Licht auf deſſen Auge gerade ſo ein, als ob es nebſt ſeiner eigenen Bewegung, auch noch eine der Bewegung des Beobachters gleiche und entgegengeſetzte beſäße, dieſer aber in Ruhe wäre. Nimmt man dem zu Folge AD = AC, ſo gibt die Diagonale AE des Parallelogramms ABED die Richtung an, die der Beobachter im Punkte A ſeiner Bahn dem von S herrührenden Lichte zuſchreibt. Er ſieht daher den Stern in der Verlängerung von EA, z. B. in S′, d. h. er verſetzt ihn nach der Richtung ſeiner eigenen Bewegung um den Winkel SAS′ vorwärts, deſſen Größe ſich aus dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeit des Lichtes zu jener der Erde und aus den Richtungen beider berechnen läßt. Man findet ihn = 10″.2. Es muß daher ein Stern in einem Jahre ſcheinbar eine Ellipſe beſchreiben, welche der Erdbahn ähnlich iſt, und deren große Axe unter dem Winkel 20″.4 erſcheint.

Sechstes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

47. Die Bewegungen der Planeten erſcheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die ſcheinbare Bewegung der Sonne; ſie gehen aber faſt alle in einem Gürtel vor ſich, welcher Thierkreis (Zodiacus) heißt, mit der Ecliptik parallel iſt und von ihr in zwei gleiche Theile getheilt wird. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne, und heißen untere Planeten, die anderen entfernen ſich bis 180°, und werden obere Planeten genannt. Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper ſo gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu ſtehen kommt, daß ihr Längenunterſchied 180° beträgt, ſo ſagt man, er ſey in Oppoſition; ſind ihre Längen gleich, ſo iſt er in Conjunction; beträgt der Längenunterſchied 90°, in Quadratur.

48. Die eigene, von der täglichen unabhängige Bewegung der Planeten bietet merkwürdige Veränderungen dar. Man bemerkt, daß zu einer Zeit ihre Bewegung langſamer wird, hierauf völlig aufhört, ſo daß die Planeten wie Fixſterne ihren Platz eine geraume Zeit hindurch unverändert einzunehmen ſcheinen. Nach einiger Zeit nehmen ſie eine der erſten entgegengeſetzte Richtung an, mit der ſie bis zu einem gewiſſen Grade der Geſchwindigkeit fortfahren; iſt dieſer erreicht, ſo nimmt ihre Geſchwindigkeit wieder ab, wird gleich Null, und es beginnt wieder die Bewegung nach der erſteren Richtung. Man ſagt, ein Planet ſey ſtationär, wenn er keine eigene Bewegung zu haben ſcheint; er ſey rechtläufig, wenn er ſich von Weſt nach Oſt bewegt; rückläufig, wenn er eine entgegengeſetzte Richtung hat. Unter allen dieſen Bewegungen iſt die rechtläufige doch die größte, ſo daß man im Allgemeinen ſagen kann, alle Planeten bewegen ſich von Weſt nach Oſt. Die Planetenbahnen erſcheinen demnach, von der Erde aus geſehen, ſo verwirrt, daß es ſchwer hält, ſich Kräfte zu denken, durch welche ſie hervorgebracht werden ſollen. Dieſes muß um ſo auffallender ſeyn, da ſelbſt die ſcheinbare Bewegung der Sonne ſo regelmäßig iſt, und ſich die Natur gleichſam untreu geworden zu ſeyn ſcheint, indem hier ihre ſonſtige Einfachheit und Einheit vermißt wird. Es könnte wohl der Fall ſeyn, daß dieſe Verwirrung nur ſcheinbar wäre, und daß wir uns nur nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieſer Erſcheinungen nur zwei Wege übrig: entweder ſind die Planetenbewegungen wirklich ſo verwickelt, wie ſie erſcheinen, und wir befinden uns im Mittelpunkte oder doch innerhalb ihrer Bahnen, oder ſie erſcheinen uns nur ſo verwirrt, weil wir uns nicht an der gehörigen Stelle befinden.

49. Die alten Aſtronomen, an deren Spitze Ptolomäus ſteht, ſahen die Erde als Mittelpunkt der Planetenbahnen an, und erklärten ſich ihre verwickelte Bewegung dadurch, daß ſie annahmen, jeder Pla=

net bewege ſich in einem Kreiſe abcd (Fig. 368), der Epicykel heißt, deſſen Mittelpunkt ſich in einem anderen Kreiſe BAC um die Erde T bewegt, den man excentriſchen Kreis nannte, weil T außer ſeinem Mittelpunkte liegt. Nach dieſer Hypotheſe hat der Planet die ſchnellſte directe Bewegung, wenn er ſich in ſeiner größten Entfernung b von der Erde befindet, weil da ſeine Bewegung im Epicykel und die des Epicykels im Kreiſe ABC nach derſelben Richtung geſchieht. Bewegt er ſich aber im Bogen cda, ſo ſcheint er eine der vorigen entgegengeſetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich ſeine wahre Bewegung ſtets rechtgängig iſt. Wiewohl dieſe Hypotheſe die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreiſen zurückführt und im Allgemeinen die Erſcheinungen zu erklären ſcheint; ſo fehlt doch bei dieſer Anſicht die ſonſt ſo erhebende Einheit der Natur, weil ſich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt; hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentriſchen Kreiſe angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit ſich bringt.

50. Da nun die Erde nicht der Mittelpunkt der Bewegung der Planeten ſeyn kann, ſo handelt es ſich darum, einen Punkt zu finden, von dem die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſo einfach zu erſcheinen, als es dem Charakter der bereits bekannten, immer ſehr einfachen Geſetze der Natur gemäß iſt. Ein ſolcher Ort iſt die Sonne. Um dieſes einzuſehen, muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpunkte der Erde geſehen, erſcheint und der geocentriſche Ort heißt, den zu beſtimmen, wo er vom Mittelpunkte der Sonne aus erſcheinen würde, welchen die Aſtronomen den heliocentriſchen Ort nennen. Die einfachſte Methode bieten uns für obere Planeten ihre Oppoſitionen und Conjunctionen dar, weil da ihr geocentriſcher Ort mit den heliocentriſchen zuſammenfällt. Zwei auf einander folgende Oppoſitionen eines Planeten geben zwei heliocentriſche Oerter desſelben, und mithin ſeine Bewegung zwiſchen beiden Oppoſitionen, von der Sonne aus geſehen. So überzeugt man ſich, daß die Bewegung dieſer Planeten von der Sonne aus geſehen, ſo wie die der Erde um die Sonne, regelmäßig vor ſich gehe, daß z. B. Jupiter von einer Oppoſition zur anderen einen Bogen von 13°—14° und Saturn einen Bogen von 35°—37° um die Sonne zurücklege, und daß dieſe Bewegung ſtets nach derſelben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es ſich ſchon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einſchließen, weil ſie nie in Oppoſition kommen; aber noch deutlicher wird dieſes durch Beobachtung ihrer Lichtgeſtalten. Kehrt uns ein ſolcher Planet die ganze beleuchtete Scheibe zu, ſo muß ſich nothwendig die Sonne zwiſchen ihm und der Erde befinden, wie dieſes beim Monde im vollen Lichte der Fall iſt; ſteht er aber ſo, daß wir nichts von der beleuchteten Seite bemerken, wie beim neuen Monde, ſo muß er ſich zwiſchen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die obere, dieſe die un-

tere Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieſer wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in ſeine Bahn aufzunehmen.

Für Jupiter und Saturn läßt ſich der Satz, daß ſie ſich um die Sonne bewegen, ſogar aus Ptolomäus Beſtimmungen beweiſen. Die Verfinſterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, das Verhältniß ſeiner Entfernung von der Erde zu jener der Sonne von der Erde zu beſtimmen. Es ſey z. B. S (Fig. 369) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A Jupiter, der einen coniſchen Schatten wirft. Iſt die Dauer der Finſterniß eines ſeiner Trabanten genau beſtimmt, ſo befindet ſich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieſer Dauer in Oppoſition mit Jupiter, und ſein Ort, vom Mittelpunkte Jupiters aus geſehen, fällt mit dem zuſammen, wo Jupiter vom Mittelpunkte der Sonne aus erſcheint. Da man erſteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und des Trabanten berechnen kann, ſo iſt dadurch für dieſen Augenblick auch der heliocentriſche Ort Jupiters gegeben. Da auch deſſen geocentriſcher Ort und der Ort der Sonne für dieſen Augenblick bekannt iſt, ſo hat man im Dreiecke SAT die Winkel SAT, STA, mithin auch TSA, und aus anderen Angaben die Größe der Seite TS, mithin auch SA und TA. Es ſind alſo aus jeder Verfinſterung eines Jupitertrabanten die Elemente des Dreieckes AST und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele ſo gefundene Oerter Jupiters mit einander, ſo zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieſes Planeten, aus der man abnimmt, daß er ſich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weiſe beſtimmt man aus dem Verſchwinden und Wiedererſcheinen des Saturnringes ſeine Entfernung von der Erde, die $9\frac{1}{2}$mal größer iſt, als die der Sonne von der Erde. Dieſes Verhältniß gibt aber Ptolomäus ſelbſt für das des Halbmeſſers der Saturnbahn zum Halbmeſſer ſeines Epicykels an, und daher iſt dieſer Epicykel die Erdbahn.

51. In welcher Ordnung ſich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digreſſionen von der Sonne, daß ſie letzterer näher ſtehen als die Erde, während die übrigen Planeten von ihr weiter entfernt ſind, und bei ihrer Conjunction nicht wie jene vor, ſondern hinter der Sonnenſcheibe vorbeigehen. Von beiden ſteht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digreſſion hat und Venus manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geſchah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus; denn die Aenderung des ſcheinbaren Durchmeſſers von der Conjunction zur Oppoſition iſt bei Mars größer als bei Jupiter, bei dieſem größer als bei Saturn, bei dieſem bedeutender als bei Uranus; daher muß auch die Entfernung der Sonne von der Erde gegen ihre Entfernung vom Mars größer ſeyn, als gegen die vom Jupiter u. ſ. f., oder, was dasſelbe iſt, es muß obige Ordnung Statt finden. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Veſta haben ihre Bahnen zwiſchen denen des Mars und Jupiters. Der Erde iſt ihr Platz zwiſchen Venus und Mars angewieſen.

52. Durch dieſe Unterſuchungen iſt nur die Folge der Planeten, und daß ihre Bahnen die Sonne in ſich ſchließen, dargethan; wie aber dieſe Bahnen beſchaffen ſind, und nach welchem Geſetze ſich in ihnen

die Planeten bewegen, iſt dadurch nicht ausgemacht. Die Beſtimmung dieſer Punkte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es ſich zur Aufgabe ſeines Lebens gemacht hat, die Geſetze der Planetenbewegungen aufzudecken. Ptolomäus ging von dem Grundſatze aus, daß ſich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geſchwindigkeit um die Erde bewegen, und daß letztere ſich außerhalb des Mittelpunktes dieſes Kreiſes befinde, ſo daß die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus geſehen, ſcheinbaren Ungleichheiten unterliegen müſſe, welche deſto größer ſind, je bedeutender die Excentricität ſeines Kreiſes iſt. Copernicus wich nur darin vom Vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes bei. Kepler hingegen unterwarf alle Punkte der Planetenbewegungen einer ſtrengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes und der gleichförmigen Bewegung, und fand: 1) Daß ſich alle Planeten in Ellipſen um die Sonne bewegen, und daß ſich letztere im gemeinſchaftlichen Brennpunkte aller dieſer Ellipſen befinde. 2) Daß die in gewiſſen Zeiten beſchriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt ſeyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältniſſe ſtehen. Durch dieſe Geſetze iſt alles beſtimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat; man kann bei einem Planeten aus ſeiner Umlaufszeit auf ſeine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus dieſer Entfernung auf ſeine Umlaufszeit ſchließen. Dieſes iſt beſonders wichtig für die Beſtimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man ſchon aus zwei Oppoſitionen den Bogen, den er in der Zwiſchenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ ſich hierauf mittelſt des dritten Kepler'ſchen Geſetzes ſeine Entfernung von der Erde berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derſelben Ebene, ſie ſchneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächſtfolgende (für Juno) aber ſchon nur 13° beträgt. Die Durchſchnittspunkte einer Planetenbahn mit der Ecliptik heißen Knoten, und zwar einer der aufſteigende, der andere der abſteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen ſind verſchieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinſte jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten ſind ungleich und werden, dem dritten Kepler'ſchen Geſetze gemäß, deſto größer, je weiter der Planet von der Sonne abſteht.

53. Die Ordnung der Planeten, wie ſie erwieſen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicaniſchen Syſtems, und unterſcheidet es von dem Ptolomäiſchen, nach welchem ſich alle Planeten, ſo wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychoniſchen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber dieſe ſammt ihrem Gefolge um die Erde, ſo daß die Halbmeſſer der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer ſind, als der Halbmeſſer der Sonnenbahn.

Folgende Tafeln geben die vorzüglichſten Zahlenwerthe an, durch welche die Planetenbahnen und ihre jährlichen Bewegungen bezeichnet werden.

1. Entfernung der Planeten von der Sonne in deutſchen Meilen und Excentricität ihrer Bahn.

Planeten.	kleinſte.	größte.	mittlere.	Verhältniß der Axen der Ellipſe.
Merkur . .	7412613	9751675	8082144	2 : 3
Venus . . .	14998639	15205897	15102268	75 : 76
Erde . . .	20528093	21229397	20878745	29 : 30
Mars . . .	28847290	34778294	31812792	4 : 5
Veſta . . .	44932670	53705430	49319050	5 : 6
Juno . . .	41752237	69635763	55754000	4 : 7
Ceres . . .	53235198	62318002	57776600	6 : 7
Pallas . . .	43652217	71943443	57797830	11 : 18
Jupiter . .	103361858	113825604	108593731	10 : 11
Saturn . .	187952378	210322822	199137600	19 : 21
Uranus . .	381828330	419212930	400520630	10 : 11

2. Sideriſche Umlaufszeit und Geſchwindigkeit in 1 Secunde.

Planeten.	Umlaufszeit.	Geſchwindigkeit in 1 Secunde.
Merkur	87.7969258 Tg.	6.53 Meilen.
Venus	224.700787 »	4.85 »
Erde	365.255383 »	4.12 »
Mars	686.979619 »	3.29 »
Veſta	1327.598293 »	2.73 »
Juno	1593.841740 »	2.56 »
Ceres	1681.400904 »	2.52 »
Pallas	1682.945086 »	2.52 »
Jupiter	4332.606308 »	1.78 »
Saturn	10758.969840 »	1.32 »
Uranus	30688.713687 »	0.93 »

3. Lage der elliptiſchen Bahnen.

Planeten.	Neigung zur Ecliptik.			Lage des Apheliums.			Länge des aufſteigenden Knotens.		
Merkur . . .	7°	0′	0″	254°	30′	14″	46°	4′	11″
Venus . . .	3	23	28	308	44	18	74	57	18
Erde	0	0	0	279	39	22	0	0	0
Mars	1	51	5	152	33	49	48	3	48
Veſta	7	7	52	270	19	0	103	10	12
Juno	13	4	27	33	16	0	171	9	50
Ceres	34	37	28	326	44	12	80	56	55
Pallas . . .	10	37	30	301	22	17	172	33	54
Jupiter . . .	1	18	51	191	17	48	98	30	4
Saturn . . .	2	29	38	269	15	11	112	1	55
Uranus . . .	0	46	26	347	29	37	72	53	35

Es folgen demnach die Planeten nach Verhältniß der Excentricität ihrer Bahn ſo auf einander, von dem angefangen, deſſen Bahn am excentriſchſten iſt: Juno, Ceres, Pallas, Merkur, Mars, Veſta, Saturn, Jupiter und Uranus, Erde, Venus. Die Neigung der Bahn gegen die Ecliptik wächſt in folgender Ordnung: Ceres, Juno, Pallas, Veſta, Merkur, Venus, Saturn, Mars, Jupiter, Uranus. Die aufſteigenden Knoten der Bahnen liegen in folgender Ordnung in der Ecliptik: Merkur, Mars, Uranus, Venus, Ceres, Jupiter, Veſta, Saturn, Juno, Pallas. Nach der Lage des Apheliums ſtehen die Planeten in folgender Ordnung: Juno, Mars, Jupiter, Merkur, Saturn, Veſta, Erde, Pallas, Venus, Ceres, Uranus.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe.

54. Unter den Nebenplaneten iſt der Mond für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigſte; darum ſoll er auch zuerſt betrachtet werden. Von der Bewegung des Mondes überzeugt man ſich durch dasſelbe Mittel, wodurch man die ſcheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung ſeines ſcheinbaren Ortes mit dem eines Fixſternes. Auch dieſe erfolgt von Weſt gegen Oſt, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht und gegen die Ecliptik geneigt iſt. Die Bahn ſelbſt iſt elliptiſch und in einem Brennpunkte dieſer Ellipſe befindet ſich die Erde ſo, daß ſich der Mond eben ſo um die Erde bewegt, wie die Erde um die Sonne. Es laſſen ſich auf ihn alle Kepler'ſchen Geſetze anwenden, und die Elemente ſeiner Bahn ſind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten. So rücken die Knoten der Mondesbahn täglich um 3′ 10″.8 von Oſt nach Weſt fort, und machen daher in 19 Jahren einen Umlauf; der Punkt ſeiner Erdnähe bewegt ſich hingegen täglich um 6′ 40″.9 von Weſt nach Oſt, und kommt daher in ungefähr 9 Jahren einmal herum; die Neigung ſeiner Bahn gegen die Ecliptik ändert ſich von 5° 17″ bis 5° 0′ 13″. Auch die Bewegung des Mondes weicht von der rein elliptiſchen Bewegung oft ſtark ab, und iſt überhaupt ſehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß ſind und leicht bemerkt werden können, während ſich andere nur erſt bei ungemein ſcharfen und ſehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

55. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixſternes mit dem Monde bis zur nächſtfolgenden heißt ſideriſche Umlaufszeit, ſideriſcher Mondenmonat. Von dieſer iſt die periodiſche Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond ſeine Länge um 360° ändert, um ſo viel verſchieden, als er braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Aequinoctialpunkte in einem Monate zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne

bis zur nächſtfolgenden heißt ſynodiſche Umlaufszeit. Sie iſt wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die ſideriſche. Wegen der Aenderung der Abſidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe (der anomaliſtiſche Monat) und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt (der Drachenmonat), von der ſideriſchen Umlaufszeit verſchieden ſeyn.

56. Unter allen dieſen iſt der ſynodiſche Monat, deſſen Dauer 29.53059 (29 T., 12 St...) Tage beträgt, für das gemeine Leben am merkwürdigſten, weil er mit den Lichtgeſtalten (Phaſen) des Mondes in Verbindung ſteht. Der Mond zeigt uns nämlich die ganze Scheibe beleuchtet, oder es iſt Vollmond, wenn er mit der Sonne in Oppoſition iſt. So wie er ſich von da entfernt, nimmt der beleuchtete Theil ab, es iſt abnehmender Mond, und beträgt zur Zeit der Quadratur nur noch die Hälfte der ganzen Scheibe. Ueber die Quadratur hinaus wird der beleuchtete Theil noch kleiner, bis zur Zeit der Conjunction die ganze Scheibe dunkel und daher Neumond iſt. Von da nimmt die Größe des beleuchteten Theiles wieder zu, wie ſie vorhin abgenommen hat. Dieſes alles zuſammengenommen, zeigt deutlich, daß die Lichtabwechslungen davon herkommen, daß der Mond uns manchmal die ganze von der Sonne beleuchtete Scheibe, manchmal nur einen Theil derſelben, manchmal die unbeleuchtete Seite zukehre, wie man aus Fig. 370 abnehmen kann, wo T die Erde, S die Sonne, L den Mond bedeutet, und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geſchieden iſt.

57. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen ſich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weiſe und nach denſelben Geſetzen, wie ſich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus geſehen, erſcheinen dieſe Bewegungen ſehr einfach. Befindet ſich der Trabant in einem ſeiner Knoten, ſo ſcheint er um den Planeten zu oſcilliren, er entfernt ſich von ihm, nähert ſich ihm wieder, entfernt ſich nach der entgegengeſetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er ſich aber außer dem Knoten, ſo erſcheint uns ſeine Bahn als eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich iſt die des Ringes, welcher den Saturn umgibt. Alle wichtigeren Punkte der Trabantenbewegung erſieht man am beſten aus folgender Tafel.

Trabanten.	Entfernung vom Hauptplaneten.		Umlaufszeit.				Neigung der Bahn.
Mond	51844 Meil.		27 T.	7 St.	43 M.	11.6 S.	5° 9′ 45″
Jupiterstrabant							
erſter	58059	»	1	18	27	33	3 5 30
zweiter	92376	»	3	13	13	42	3 4 25
dritter	147347	»	7	3	42	33	3 0 30
vierter	259157	»	16	16	31	50	141 0 26
Saturntrabant							
erſter	25081	»	0	22	37	30	30°
zweiter	32039	»	1	8	53	9	
dritter	39853	»	1	21	18	26	
vierter	51053	»	2	17	44	51	
fünfter	71307	»	4	12	25	11	
ſechster	165302	»	15	22	41	13	
ſiebenter	481809	»	79	7	54	37.4	22° 42′
Ring	13865 19747	» »	4—5 St.				30°
Uranustrabant							
erſter	49123	»	5	21	25	20.6	nahe 90°
zweiter	64423	»	8	16	57	47.5	
dritter	74302	»	10	23	3	59	
vierter	85186	»	13	10	56	29.8	
fünfter	170383	»	38	1	48	0	
ſechster	340743	»	107	16	39	56	

58. Bei der Oppoſition oder Conjunction des Mondes ereignen ſich manchmal jene merkwürdigen Erſcheinungen, die man Sonnen- und Mondesfinſterniſſe nennt. Eine Mondesfinſterniß iſt die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdſchatten; ſie ereignet ſich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß ſich die beleuchtete Mondesſcheibe am öſtlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt dieſe Verdunklung immer weiter, verbreitet ſich bei ſogenannten totalen Finſterniſſen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück desſelben, das man nach ecliptiſchen Zollen angibt, wovon jeder $\frac{1}{12}$ des ſcheinbaren Mondesdurchmeſſers beträgt. Fig. 371 ſtellt die Erde E mit ihrem Schatten und ein Stück ab der Mondbahn vor. Läge die Mondesbahn ganz in der Ecliptik, ſo müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß Statt finden; allein wegen der Neigung der Mondesbahn gegen die Ecliptik ereignet ſich eine ſolche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo ſich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und ſeine Breite geringer iſt, als die Summe aus dem Halbmeſſer des Mondes und dem des Erdſchattens da, wo der Mond ihn ſchneidet. Wäre z. B. (Fig. 372) AE ein Stück der Mondesbahn, AL ein Stück der Ecliptik, a der Mittelpunkt des Mondes im Augen-

blicke der Oppoſition, b der eines Durchſchnittes des Erdſchattens in der Entfernung des Mondes von der Erde, und die zu a und b gehörigen Kreiſe die Mondesſcheibe und der Durchſchnitt des Erdſchattens; ſo iſt leicht zu erſehen, daß nur dann ein Durchſchneiden beider Kreiſe Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes ab kleiner iſt, als die Summe der Halbmeſſer beider Kreiſe. — Sonnenfinſterniſſe entſtehen dadurch, daß der Mond zwiſchen die Sonne und die Erde zu ſtehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt. Dieſelbe Urſache, aus welcher ſich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinſterniß entſteht, ſondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei ſeiner Conjunction kleiner iſt, als die Summe des ſcheinbaren Sonnen- und Mondeshalbmeſſers. In Fig. 373 iſt E die Erde, S die Sonne, M der Mond mit ſeinem Schatten. — Sonnenfinſterniſſe ſind wie die Mondesfinſterniſſe, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpunkte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunkt des Mondes geht, ſo iſt für dieſen Ort die Verfinſterung nur partial. Selbſt wenn erſteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinſtert erſcheinen, ſondern wenn der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes kleiner iſt, als jener der Sonne, ſo bleibt ein leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finſterniß iſt ringförmig. Uebrigens ſieht man leicht ein, daß auch die verſchiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpunkte der Erde eben ſo wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinſterung haben müſſe, weil dadurch der ſcheinbare Durchmeſſer vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinſterniſſe in verſchiedenen Orten der Erde verſchieden iſt, während doch Mondesfinſterniſſe allenthalben gleich groß erſcheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinſterniſſe fragen kann, läßt ſich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ecliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdſchattens gegeben ſind. Auf dieſe Weiſe findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finſterniſſe erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinſterniſſe ſind, daß jedes Jahr im Durchſchnitte vier Finſterniſſe hat, und daß die Finſterniſſe ungefähr nach 19 Jahren wieder in derſelben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometriſchen Berechnung der an einem gegebenen Orte ſichtbaren Sonnenfinſterniſſe von J. W. Müller. Sulzbach 1815. Littrow's Darſtellung der Sonnenfinſterniſſe. Wien 1820.) — Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben ſich beſondere Epochen, welche zur Beſtimmung hiſtoriſcher Ereigniſſe dienlich ſind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphaſen, z. B. der Neumond, wieder auf denſelben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe faſt genau in 19 Jahren geſchehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel ſey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel

und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht aſtronomiſchen Periode von 15 Jahren, welche Inductionszirkel oder Römerzinszahl heißt, multiplicirt, geben 7980 als die julianiſche Periode, nach welcher Sonntagsbuchſtabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denſelben Jahrestag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von Vega. Wien und Leipzig 1801.

59. Da die Planeten einen Schatten werfen, wie unſere Erde, ſo werden ihre Trabanten auch manchmal in denſelben eintreten und verfinſtert werden. Solche Finſterniſſe ſind beſonders bei den Jupiterstrabanten häufig, und werden zum Behufe der irdiſchen Längenbeſtimmungen von den Aſtronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

60. Die Kometen erſcheinen meiſt unerwartet und mit einem auffallenden Aeußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit ſichtbar, nähern ſich dabei mit ſtark zunehmender Geſchwindigkeit der Sonne immer mehr, ſo daß ſie ſich manchmal ganz in den Sonnenſtrahlen verbergen; hierauf entfernen ſie ſich wieder von ihr, ihre Geſchwindigkeit nimmt ab, bis ſie mit freiem Auge, und zuletzt auch mit Fernröhren unſichtbar werden. Sie beſtehen meiſtens aus einer trüben, veränderlichen Dunſtmaſſe; wenige haben in dieſer einen feſten Kern, der ſelbſt bei den meiſten vielleicht noch weniger dicht iſt, als unſere Atmoſphäre, weil man nahe an ihm ſelbſt ſehr kleine Sterne mit ungeſchwächtem Lichte ſieht. Bei manchem Kometen hat die Dunſtmaſſe eine runde Geſtalt, bei den meiſten aber dehnt ſie ſich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunſthülle weſentlich verſchieden ſeyn ſoll; er iſt bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom J. 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büſchel getheilt, aber meiſtens von der Sonne abgewendet. Dieſen Schweif bekommen die Kometen wahrſcheinlich erſt, wenn ſie ſich der Sonne ſtark nähern, ja man hat ſogar Kometen bemerkt, die das erſte Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererſcheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht iſt bald gelblich (K. vom J. 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

61. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde iſt, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren iſt nicht, wie bei den Planeten, immer die von Weſt nach Oſt, auch ſelten innerhalb des Thierkreiſes gelegen; ja bei einigen faſt auf der Erdbahn ſenkrecht (K. v. J. 1707). Man weiß nun mit Beſtimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieſelben Geſetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß ſie ſich wie dieſe um die Sonne bewegen, und ſogar auch in einer Kegelſchnittlinie. Allein die Beſchaffenheit dieſer Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Pla-

neten eigenen ab, daß ſie, wenn ſie eine Ellipſe iſt, eine weit größere Excentricität hat, als die der Planetenbahnen, daß ſie aber auch eine Hyperbel ſeyn kann. Von einigen Kometen iſt es erwieſen, daß ſie in Ellipſen um die Sonne gehen. Man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererſcheinen vorausſagen. So war dieſes mit dem Kometen der Fall, der zuerſt im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde, und mit einer kleinen Verſpätung wirklich erſchien. Er iſt ſeit dieſer Zeit ſchon mehrmal beobachtet worden. Man ſah ihn das letzte Mal im Jahre 1835. In der neueſten Zeit berechnete Encke einen von Pons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und im Jahre 1822 in Süden am berechneten Orte geſehen wurde. Im Jahre 1832 hat man ihn wieder recht gut ſehen können.

62. Ueber die Natur der Kometen läßt ſich wenig mit Gewißheit ſagen. In älteren Zeiten hielt man ſie für bloße Lichterſcheinungen und für Vorboten großer Unglücksfälle; heut zu Tage iſt unſere Kenntniß derſelben ſo weit gediehen, daß man mit Beſtimmtheit weiß, ſie ſeyen gleich den Planeten außer unſerer Atmoſphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Beſtimmung und über das Verhältniß, in welchem ſie gegen die anderen Körper unſeres Sonnenſyſtems ſtehen, etwas Näheres ſagen zu können.

63. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß Jedem einleuchten, der weiß, daß faſt jährlich einer oder mehrere geſehen werden, die ſich von denen unterſcheiden, welche früher ſchon beobachtet wurden, und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müſſen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerſcheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird; aber ſelbſt die mit der Aufmerkſamkeit der Aſtronomen in gleichem Verhältniſſe wachſende Anzahl ſolcher Erſcheinungen rechtfertigt ſchon dieſe Annahme. Man beobachtete bis zum J. 1790 kaum 80 Kometen, und von dieſen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis jetzt kennt man deren nahe 400. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne geſehen zu werden, oder nur in ſüdlichen Gegenden ſichtbar ſeyn, wo ſie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch ſtimmt Alles mit der Annahme überein, daß ſich die Kometen nicht wie die Planeten in einer ſchmalen Zone bewegen, ſondern gleichförmig im Raume vertheilt ſind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kamen als Venus, und deren gewiß eben ſo viele unbeobachtet vorübergegangen ſind, ferner im Durchſchnitte alle 500 Jahre dieſelben Kometen wieder ſichtbar werden, ſo mag der Raum zwiſchen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwiſchen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigſtens 400,000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unſeres Sonnenſyſtems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

64. Die Sonne galt in frühern Zeiten, beſonders bei den Anhängern der Ariſtoteliſchen Philoſophie, für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch ſie habe dunkle Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieſes beſtätigt und zur vollen Gewißheit erhoben. Dieſe Flecken ſind verſchieden an Zahl, Größe und Beſchaffenheit. Manchmal erſcheint die Sonnenſcheibe längere Zeit hindurch ganz makellos; ſo z. B. hat man von 1650 bis 1670 kaum einen und von 1695 bis 1700 gar keinen Flecken beobachtet; in den Jahren 1816, 1817 u. ſ. w. waren ſie ſehr häufig. Die Menge der zugleich vorhandenen und ihre Größe iſt ſehr verſchieden. So fand Scheiner deren auf einmal 50 und König in Mannheim 38. Herſchel beobachtete 1779 einen Sonnenflecken, der ſchon mit freiem Auge geſehen werden konnte, und mehr als 50,000 Q. Meilen einnahm; meiſtens aber ſind ſie ſo klein, daß man ſie nur mit Fernröhren deutlich ſieht. Die Sonnenflecken haben meiſtens einen ſehr ſchwarzen Mitteltheil, und um ihn eine minder dunkle, nebliche Einfaſſung. Indeß gibt es auch ſolche, welche ohne ſchwarzen Kern erſcheinen. Einen ſolchen beobachtete Hevel im Jahre 1643, der faſt ein Drittel des Sonnendurchmeſſers einnahm, und ſich endlich in mehrere dunkle Flecken auflöſte. Nach Schröter zeigen ſich die Nebelflecke bei den ſtärkſten Vergrößerungen ſtreifenartig und unregelmäßig begrenzt, der Nebel verſchwindet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kerns, und oft entſteht nahe am Sonnenrande ſtatt des Nebels ein lichter Ring; andere behalten aber den Nebel ſelbſt am Rande. Ueberhaupt ſind dieſe Flecken immerwährenden Aenderungen unterworfen, ſie vergrößern und verkleinern, trennen und vereinigen ſich, und ändern dabei Geſtalt und Größe.

65. Die Sonnenflecken bewegen ſich insgeſammt vom öſtlichen Rande der Sonnenſcheibe gegen den weſtlichen, verſchwinden daſelbſt, wenn ſie überhaupt ſo lange dauern und ſich nicht ſchon auf der uns zugekehrten Scheibe auflöſen, und kommen oft wieder am öſtlichen Rande zum Vorſchein. Hieraus ſchließt man auf eine Axendrehung der Sonne, deren Dauer 25 T. 14 St. 8 M. beträgt.

66. Außer den dunkeln Theilen bemerkt man auf der Sonnenſcheibe auch noch ſolche, die mehr leuchten als der übrige Theil, und Sonnenfackeln genannt werden. Herſchel vergleicht ſie mit den Runzeln eines welken Apfels. Viele derſelben liegen einzeln und nicht ſcharf begrenzt auf der Sonnenſcheibe, manche ſind an einander gereiht, und erſcheinen wie Landſchaften voll Berge und Thäler; man erkennt ſie aber meiſtens erſt, wenn ſie nahe am Rande der Sonne ſtehen.

67. Ueber die Natur der Sonnenflecken und Sonnenfackeln gibt es ſehr verſchiedene Meinungen. Einige halten ſie gegen alle Wahrſcheinlichkeit für dunkle, um die Sonne kreiſende Körper, andere für

dunkle, aus Sonnenvulkanen ausgeworfene Körper, andere für ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers, und noch andere für Stellen, wo die leuchtende Sonnenatmoſphäre durchbrochen iſt, und uns einen Blick auf den dunklen Sonnenkörper verſtattet. Letztere Meinung hat an Wahrſcheinlichkeit gewonnen, ſeit Arago einen Unterſchied zwiſchen dem von gasförmigen und dem von feſten oder tropfbaren Körpern ausgehenden Lichte nachgewieſen und gezeigt hat, daß das Sonnenlicht mit dem Lichte gasförmiger Körper übereinkomme.

68. Wiewohl die ſcheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, ſo iſt doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallaxe, die nur nahe 8″.5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde nahe 21 Millionen Meilen betrage. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer hat 32′ 2″.9, und daher ihr wahrer 112.4 Erdhalbmeſſer, woraus folgt, daß ſie an Oberfläche die Erde 12,641mal, an körperlichem Inhalte 1,421150mal übertrifft.

69. Der bekannteſte der Planeten iſt ohne Zweifel Venus, nämlich jener Stern, den man gewöhnlich Abendſtern oder Morgenſtern nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt des Abends ſichtbar zu werden, ſo findet man, daß er ſich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis ſeine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück, und verſchwindet endlich ganz in den Sonnenſtrahlen. Bald darauf ſieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, ſich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben ſo wieder zu ihr zurückkehren. Es iſt wohl kein Zweifel, daß dieſes derſelbe Stern, wie der vorhin erwähnte, ſey. Der ſcheinbare Durchmeſſer der Venus ändert ſich von 9″ bis 65. Ihr wahrer Durchmeſſer beträgt 1633 Meilen, alſo nur um 86 Meilen weniger, als der Durchmeſſer Erde. Sie erſcheint ſehr hell glänzend, manchmal gar ſo, daß man ſie bei Tage ſieht. Mittelſt Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphaſen wie beim Monde, zum Beweiſe, daß ſie, ſo wie dieſer, ein dunkler Körper iſt, der ſein Licht von der Sonne bekommt. Auch Flecken ſieht man an ihr und Unebenheiten von einer ſolchen Größe, daß ſie die Berge auf der Erde weit übertreffen, aus deren periodiſchem Verſchwinden und Wiedererſcheinen ſchon Caſſini auf eine Axendrehung von ungefähr 23½ St. ſchloß. Schröter fand unter dieſen Bergen mehrere von 7 Meilen Höhe. Die meiſten und größten befinden ſich auf der ſüdlichen Halbkugel, und bilden dort Ketten, deren einige 200 Meilen lang ſind. Schröter will auch etwas einer Dämmerung Aehnliches an der Lichtgrenze bemerkt haben, und vermuthet hieraus das Daſeyn einer Atmoſphäre.

70. Der Planet Merkur zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterſchiede, daß er ſich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieſer geringen Entfernung iſt er auch ſchwer zu ſehen. Der ſcheinbare Durchmeſſer des Merkurs wechſelt von 4″ — 11″.6; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 580 Meilen. Er hat vorzüglich im ſüdlichen Theile hohe Gebirge, welche die höchſten der Erde

faſt dreimal übertreffen, und Züge von 40 Meilen Breite und 80 Meilen Länge bilden, einen klaren Dunſtkreis und eine Axendrehung von ungefähr 24 St. Er zeigt Phaſen wie der Mond.

Venus oder Merkur ſieht man, nachdem ſie unſichtbar geworden ſind, manchmal wie ſchwarze Scheibchen durch die Sonnenſcheibe gehen, und ſo gleichſam eine Sonnenfinſterniß verurſachen. Dieſes Ereigniß iſt für den Aſtronomen von großer Wichtigkeit, weil es ihm Mittel verſchafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenſcheibe von Kohl. Greifswalde 1768.)

71. Mars hat ein feuerrothes Licht und eine ſehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmeſſer wächſt von 3''.4—27''.2. Sein wahrer Durchmeſſer hält 963 Meilen. Er hat auf ſeiner Oberfläche bedeutende Flecken, wovon mehrere ſich ſehr ſchnell verändern und daher wahrſcheinlich ſeiner Atmoſphäre angehören, andere aber beſtändig ſind, und auf eine Umdrehung von ungefähr 24 Stunden ſchließen laſſen. Seine Pole zeigen ein glänzenderes Licht, als die anderen Theile, gerade als wenn er dort mit Eis bedeckt wäre.

72. Jupiter iſt nach der Venus der glänzendſte Planet. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt 30''—49'': ſein wahrer Durchmeſſer hält 18900 Meilen oder 11006 Erddurchmeſſer, ſo daß ſein Volum das der Erde 1333mal übertrifft. Seine Scheibe iſt an den Polen merklich abgeplattet, voll Ungleichheiten und Flecken, vorzüglich in der Gegend ſeines Aequators, deren periodiſches Verſchwinden und Erſcheinen eine Axendrehung von 9 St. 56 M. anzeigt. Einige dieſer Flecken ändern ſogar ihren Platz auf der Scheibe des Jupiters oft innerhalb weniger Stunden, ſo daß man glaubt, es ſeyen Wolken, welche in einer unruhigen Atmoſphäre durch Winde bewegt werden.

73. Saturn erſcheint mit etwas blaſſerem Lichte als ein Firſtern der erſten Größe, unter einem Durchmeſſer von 15''—21''; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 17258 Meilen. Seine Scheibe iſt merklich an zwei Stellen abgeplattet, ſo daß der Durchmeſſer, welcher mit ſeinem Aequator 45° macht, am größten iſt; allein die Abplattung iſt nach Schröter nicht immer von einerlei Größe, ohne daß doch bei dieſer Veränderung die Regelmäßigkeit der Geſtalt leidet, ſo daß es ſcheint, als wäre der Planet von einer flüſſigen Maſſe umgeben, die einer Art Ebbe und Fluth unterworfen iſt. Er zeigt beſtändige und veränderliche Flecken, die eine Umlaufszeit von ungefähr 10 St. verrathen.

74. Uranus erſcheint durch Fernröhre mit einem Durchmeſſer von 3''.5—4''.3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 7500 Meilen.

75. Die Planeten Ceres, Pallas, Juno, Veſta erſcheinen von ſehr geringem Durchmeſſer. Der kleinſte von ihnen iſt Veſta; ſein Durchmeſſer beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber haben nach Schröter ein ſehr helles blendendes Licht, und ſind vielleicht ſelbſt leuchtende Körper. Sie müſſen gewaltige Atmoſphären haben, weil

ſie oft, beſonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erſcheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte ſtrahlen.

Vergleicht man alle bisherigen Angaben über das Eigenthümliche jedes Planeten, ſo findet man: daß die Planeten eine verſchiedene ſcheinbare und wahre Größe haben, daß jeder derſelben etwas abgeplattet ſey, eine Bewegung um ſeine Axe von Weſt nach Oſt habe, und daß die Neigung der Drehungsaxe gegen die jährliche Bahn bei jedem von anderer Größe ſey. Am größten erſcheint uns bei der größten Annäherung an die Erde Venus, die übrigen folgen in dieſer Beziehung ſo auf einander: Jupiter, Mars, Saturn, Merkur, Uranus, Pallas, endlich Ceres, Pallas, Juno, Veſta. In Betreff ihrer abſoluten Größe ſtehen ſie in folgender Ordnung vom größten zum kleinſten: Jupiter, Saturn, Uranus, Erde, Venus, Mars, Merkur, Pallas, Ceres und Juno, Veſta. Die größte Rotationsgeſchwindigkeit oder die kürzeſte tägliche Umlaufszeit hat Jupiter, hierauf folgen: Saturn, Venus, Merkur, Mars, Erde, die Rotationszeit der übrigen iſt unbekannt. Die größte Abplattung hat Jupiter, die übrigen folgen ſo: Saturn, Uranus, Merkur, Venus, Erde, Mars. Die größte Neigung der Rotationsaxe gegen die jährliche Bahn hat Jupiter, die der übrigen nimmt in folgender Ordnung ab: Merkur, Erde, Saturn, Mars, Uranus. Für die übrigen iſt dieſe Größe noch unbekannt.

76. Unter den Nebenplaneten kennen wir natürlich keinen ſo genau, als den treuen Begleiter unſerer Erde, den Mond. An ſeiner Oberfläche bemerkt man ſchon mit freiem Auge ungleichartige Flecken; aber Fernröhre zeigen dieſes viel deutlicher, und lehren uns viel Intereſſantes an ihm kennen. Man überzeugt ſich, daß die leuchtenden, glänzenden Theile, die wie einzelne Punkte, Ringe oder Adern den Mondkörper völlig beſetzt halten, Erhöhungen, die dunkleren aber Thäler und Vertiefungen ſeyen. Denn, wenn ſolche leuchtende Theile an die Beleuchtungsgrenze zu ſtehen kommen, ſo ragen ſie aus dem Dunkel wie Funken hervor, gerade wie die Gipfel unſerer Berge, welche noch Licht von der Sonne bekommen, während die Thäler ſchon im Dunkel liegen; am Rande erſcheinen ſie gar wie Zacken. Sie werfen auch einen Schatten, der ſich wie bei irdiſchen Gegenſtänden mit dem Stande der Sonne ändert. Meſſungen haben gelehrt, daß dieſe Mondberge faſt um $^1/_3$ höher ſind, als die höchſten Berge unſerer Erde. Auch die Geſtalt der Mondberge iſt intereſſant. Einige ſind flach wie unſere niederen Bergreihen, andere ſteil, und ſtehen entweder in einzelnen Maſſen da oder gehen in Ketten fort, und theilen ſich in Aeſte. Vorzüglich häufig kommen jene Berge vor, welche wie ein kreisrunder Wall gebildet ſind; dieſe umgeben zuweilen einen Theil der Ebene, die ihnen zur Baſis dient, ſchließen aber auch oft Vertiefungen wie die Krater unſerer Vulcane ein. Letztere ſind immer vollkommen rund, nicht ſehr hoch, und haben nach außen einen ſanften Abhang und eine ſehr große Baſis. Auch iſt die Tiefe des Kraters deſto größer, je kleiner ſein Durchmeſſer iſt, und das Volum des Walles entſpricht völlig der Vertiefung, ſo daß man wohl annehmen kann, ſolche Ringberge ſeyen durch vulcaniſche Ausbrüche entſtanden, die am Monde noch jetzt Statt finden müſſen, weil man ſchon öfters

im dunklen Theile der Scheibe plötzlich glühende Stellen bemerkt hat, und weil nicht ſelten nach einem wohl wahrnehmbaren Leuchten einer Stelle der dort befindliche Berg eine Aenderung zeigt. Aus einigen Wällen ragt in der Mitte ein neuer Berg hervor. Die Ebenen und Thäler im Monde erkennt man aus ihrem aſchfarbenen Lichte. Sie ſind nicht unbedeutend und ſo wie auf der Erde von Hügeln und Bergen durchſchnitten. Man hielt dieſe Flecken ehemals für Meere, allein davon iſt man zurückgekommen, weil man bemerkte, daß ſie kein ganz gleichförmiges Licht haben, wie es beim Waſſer der Fall ſeyn müßte. Etwas dem Waſſer Aehnliches kann man am Monde gar nicht wahrnehmen. Man hat eigene Karten, welche die Mondesfläche darſtellen.

77. Wenn der Mond eine Atmoſphäre hat, ſo muß ſie aus einem ſehr feinen Stoffe beſtehen; ganz kann man ſie ihm nicht abſprechen, weil ſich bei Sonnenfinſterniſſen etwas wie ein grauer Nebel um den Mondkörper zeigt, und weil kurz vor und nach dem Neumonde etwas unſerer Dämmerung Aehnliches an den Hörnern des erleuchteten Theils des Mondes erſcheint. Man will in dieſer Atmoſphäre ſogar ein, unſeren Wolken ähnliches, nur vielmal ſchwächeres Phänomen entdeckt haben. (Schröter's ſelenotopographiſche Fragmente. Göttingen 1791.)

78. Der Mond muß ſich in derſelben Zeit, in welcher er ſynodiſch um die Erde geht, um ſeine Axe bewegen, denn ſonſt könnte er uns nicht immer dieſelbe Seite zukehren. Wenn uns auch periodiſch manchmal kleine Theile ſeiner entgegengeſetzten Scheibe ſichtbar werden, ſo kommt dieſes auf Rechnung der Gleichförmigkeit ſeiner Axendrehung und der Ungleichförmigkeit ſeiner Bewegung um die Erde, der Neigung ſeiner Bahn gegen die Ecliptik und ſeiner Axe gegen ſeine Bahn, und daher, daß wir uns nicht im Mittelpunkte der Erde, ſondern auf ihrer Oberfläche befinden.

79. Der wahre Durchmeſſer des Mondes beträgt 480 geographiſche Meilen, mithin ſeine Oberfläche 727,600 Quadratmeilen oder $^{8}/_{100}$ von der Erde, und ſein Volum $58^{1}/_{3}$ Millionen Kubikmeilen, mithin 50mal weniger als das der Erde. Seine Entfernung von der Erde hat 51,800 Meilen.

Aus allem bisher vom Monde Geſagten wird man leicht die Frage beantworten können, wie es daſelbſt mit dem Wechſel des Lichtes und der damit in Verbindung ſtehenden Wärme ausſehe. Die Sonne befindet ſich nie nördlich oder ſüdlich vom Mondäquator. Die Bewohner des Aequators dieſes Himmelskörpers haben die Sonne beſtändig im Zenith, die unter den Polen beſtändig im Horizonte. Der Tag im Mond fällt mit dem ſynodiſchen Mondenmonat von $29^{1}/_{2}$ Erdtagen zuſammen, und jeder Ort hat die Sonne 15 Tage ununterbrochen über, 15 Tage unter dem Horizonte und faſt immer iſt Tag und Nacht gleich. Eben ſo ſehen die Mondbewohner die Sterne nur alle $29^{1}/_{2}$ Tage einmal auf- und untergehen, aber die Erde ſcheint ihnen faſt unbeweglich zu ſtehen, und nur kleinen Schwankungen unterworfen zu ſeyn. In der Mitte der uns zugekehrten Seite ſteht ſie beſtändig im Zenith. Am Rande des Mondes ſieht man die Erde immer im Horizonte, in den mittleren Punkten in einer Höhe, die weniger als 90°

beträgt. Die Bewohner der von uns abgewendeten Mondſcheibe bekommen die Erde nie zu ſehen, wenn ſie nicht auf die andere Seite Reiſen unternehmen. Dafür iſt auch das Schauſpiel, das ihnen die Erde darbietet, deſto prächtiger. Sie erſcheint faſt viermal größer im Durchmeſſer als uns der Mond, nimmt alle Lichtgeſtalten vom erſten Schimmer des Neumondes bis zum Glanze des Vollmondes an, zeigt ſich dem Beobachter in 24 Stunden von allen Seiten, und ſchon mit unſeren unbewaffneten Augen würde man daſelbſt eine Erdkarte entwerfen können; ja mit unſeren Fernröhren würde man auf dem Monde nicht bloß unſere Gebirgszüge, ſondern ſogar einzelne Erhöhungen, Städte und Thürme, den Lauf der großen Flüſſe, ja ſogar den Zug einer Armee beobachten können.

80. Die phyſiſche Beſchaffenheit der übrigen Nebenplaneten iſt uns völlig unbekannt. Weil ſie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur ſehr klein ſind, ſo zeigen ſie ſelbſt durch die beſten Fernröhre keine begrenzten Flecken, und man kann auf das Daſeyn von Unebenheiten auf denſelben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes ſchließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günſtige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten ſchließen laſſen.

Zehntes Kapitel.

Urſache der Planetenbewegungen.

81. Die große Uebereinſtimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnenſyſtems läßt ſchließen, daß ſie alle durch Kräfte hervorgebracht werden, die nach denſelben Geſetzen wirken; ja man kann ſchon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft ſey, deren Wirkſamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird dieſe Vermuthung erſt, wenn man die Erſcheinungen der Planetenbewegung nach mathematiſchen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beſchreiben, ſo muß durch ihre Bewegung ein Beſtreben entſtehen, ſich vom Mittelpunkte der Bahn zu entfernen; weil dieſes aber nicht geſchieht, ſo muß auch eine andere Kraft da ſeyn, welche der Fliehkraft entgegenwirkt und ihre Wirkung aufhebt. Weil die Planeten ſich ſo bewegen, daß die um die Sonne beſchriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen ſie beſchrieben werden, proportionirt ſind; ſo muß ihre Bewegung eine Centralbewegung ſeyn, und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben. Weil die Bahnen der Planeten Ellipſen ſind, in deren einem Focus ſich die Sonne befindet, ſo muß, wie man ſtreng beweiſen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben, großen Axen der Planetenbahnen proportionirt ſind, ſo iſt die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derſelben Natur, und wird bloß durch die Entfernung modificirt. Ja dieſe Kraft muß ſich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erſtrecken,

weil ſonſt der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Maſſe der Planeten abhängen müßte, und das gerade genannte Kepler'ſche Geſetz nicht Statt finden könnte. Dieſes alles zuſammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt, und ſo abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt.

82. Da ſich die Nebenplaneten nach denſelben Geſetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie dieſe um die Sonne, indem ſie um ihre Hauptplaneten Ellipſen beſchreiben, den Zeiten proportionirte Sectoren zurücklegen, und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt ſind; ſo muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieſelben Geſetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl dieſe Schlüſſe nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, ſo läßt ſich ſchon der Analogie nach ſchließen, daß auch die trabantenloſen Planeten von dieſem Geſetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Geſtalt derſelben iſt allein ſchon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem dieſe nur bei einem Beſtreben aller materiellen Theile nach einem gemeinſchaftlichen Mittelpunkte Statt finden kann.

83. Da nun die Intenſität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt; ſo muß ſich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht bloß auf die Planeten, ſondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erſtrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen, ſo daß man ſagen kann, dieſe Anziehung iſt wechſelſeitig; jeder Körper zieht alle anderen an, jeder wird von allen anderen angezogen, und die Anziehung iſt eine allgemeine Eigenſchaft der Materie, muß daher mit der Menge derſelben zunehmen. Der allgemeinſte Ausdruck des Anziehungsgeſetzes iſt alſo $p \cdot \frac{M}{D^2}$, wo M die anziehende Maſſe bezeichnet, D die Entfernung, in welcher ſie auf einen Körper wirkt, und p die Anziehung der Maſſe $= 1$, in der Entfernnng $= 1$, ſo wie in I. 97, als Lehnſatz angenommen wurde.

84. Die Leichtigkeit, mit der man aus dieſem Geſetze die Phänomene der irdiſchen Schwere erklärt, läßt ſchon vermuthen, daß die Anziehungskraft der Himmelsſphäre mit der Schwere einerlei ſey. Der Umſtand, daß dieſes Geſetz die Wirkung eines Körpers von ſeiner Maſſe abhängig macht, bringt dieſe Vermuthung faſt zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung dar: Da ſich der Mond faſt in einem Kreiſe um die Erde bewegt, ſo gibt der Querſinus des beſchriebenen Bogens die Größe des Weges an, um den er ſich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn er nicht durch die Tangentialkraft ſeitwärts abgelenkt würde. Dieſer Querſinus läßt ſich aus der Beobachtung des in

einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man hierauf den Weg, um den ſich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdiſche Schwere ſich bis zu ihm erſtreckt, nach der Vorausſetzung, daß ſie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt; ſo findet man mit den nöthigen Correctionen genau dieſelben Reſultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweiſe, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde ſey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung Gravitation nennen, und an ihr das unſichtbare Band erkennen, welches die Körperwelt zuſammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelskörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denſelben Geſetzen regiert.

85. Eine nothwendige Folge dieſes Geſetzes iſt, daß ſich nicht bloß die Planeten um die Sonne bewegen, ſondern daß ſich das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne um einen gemeinſchaftlichen Mittelpunkt (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zuſammengenommen an Maſſe weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Maſſe, nicht aber wegen einer phyſikaliſchen Eigenſchaft, die Macht, die Planeten um ſich herumzuführen. Könnte die Maſſe irgend eines Planeten ſo ſehr vermehrt werden, daß ſie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, ſo würde dieſer die Sonne ihrer Würde entſetzen, und ſie mit den übrigen Planeten um ſich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, deſſen Maſſe die Summe der Maſſen der Sonne und der Planeten übertrifft; ſo muß das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne auf ähnliche Weiſe um ihn herumgehen, wie ſich z. B. Jupiter ſammt ſeinen vier Trabanten um die Sonne bewegt.

86. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgeſetzes iſt, daß die Planeten ſelbſt auf einander einwirken und ſich in ihren rein elliptiſchen Bewegungen ſtören; ja ſelbſt die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der geringen Maſſe der Planeten gegen die der Sonne ſehr unbedeutend ſind. Genaue und lang genug fortgeſetzte Beobachtungen zeigen dieſe Störungen, welche die Aſtronomen Perturbationen nennen, genau ſo, wie ſie die nach dem Geſetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; ſie lehren, daß die Planeten nach ihrer verſchiedenen Lage gegen einander auch verſchieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden, und daß ihre Geſchwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Hiermit weicht der Ort, den ein Planet in ſeiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptiſchen Bewegung einnehmen würde, und ſelbſt alle Elemente der Ellipſen erleiden dadurch Veränderungen, ſie werden bald enger, bald weiter, ſchieben ſich um den Brennpunkt, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf dieſe Weiſe erweitert ſich z. B. die Erdbahn beſtändig ſeit Jahrtauſenden, modi-

ficirt dadurch den Erfolg der Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond ſo, daß ſeine Geſchwindigkeit ſtets, wenn auch nur ungemein wenig zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ecliptik ſeit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es iſt wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Maſſe und die des Mondes wegen ſeiner Nähe am bedeutendſten ſeyn müſſen. Für ſie wird ſogar die Geſtalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Beſchaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht ſo groß iſt, daß man die Erde als Punkt anſehen könnte, und ſie auch keine Kugel iſt, bei der man die ganze Maſſe in einem Punkte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgeſetze angeſtellte Rechnungen lehren auch, daß durch dieſe Einwirkung auf die an den Polen abgeplatte Erde das Vorrücken der Aequinoctialpunkte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht bloß das Daſeyn gewiſſer Bewegungen, ſondern auch ihre Größe an; durch ſie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man ſie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene iſt man früher durch Reſultate des Calculs aufmerkſam gemacht worden, als ſie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat ſich das Gravitationsgeſetz als vollkommen richtig bewährt.

87. Aus dem Geſetze der Gravitation kann man auch die Maſſe, das abſolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, ſo wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der erſten Secunde zurücklegt. Dieſe Berechnung gründet ſich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen iſt, ſo muß ſie mit der Maſſe des anziehenden Körpers zunehmen; andererſeits kann man aber die Anziehung durch den Querſinus des Bogens ſchätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird, und welcher deſto größer iſt, je ſchneller die Bewegung vor ſich geht, oder je kleiner bei derſelben Entfernung die Umlaufszeit iſt. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, ſo gibt ihr verkehrtes Verhältniß das der Maſſen der Centralkörper. Auf dieſe Weiſe hat man das Verhältniß der Sonnenmaſſe zur Maſſe jedes Planeten beſtimmt, der von Trabanten umgeben iſt. Die Maſſen der Planeten, welche keine Trabanten haben, muß man aus den Perturbationen, die ſie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf dieſem Wege hat man die Maſſe des Mars und der Venus kennen gelernt und ſich überzeugt, daß die Maſſe des Merkurs nur ſehr klein ſey, weil ſeine Störungen gar nicht merklich ſind, wiewohl man die wahre Größe derſelben nicht genau zu beſtimmen im Stande war. Indeß nimmt man ſie ſo an, wie ſie ſich aus der Vorausſetzung ergibt, daß die Dichte der Planeten im verkehrten Verhältniſſe mit ihrer mittleren Entfernung von der Sonne ſtehe. Aus der Maſſe, verglichen mit dem Volum, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, ſo wie den Fallraum in der erſten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Maſſe.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der erſten Secunde.
Sonne	329630	0,236	398,44 F.
Merkur	0.162721	2,398	12,63
Venus	0.924269	1,01	14,95
Erde	1.000000	1,00	15,1
Mars	0.129453	0,66	5,81
Veſta	0.000078	1,2	0,73
Juno	0.004078	0,53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2,85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	308.9406	0,21	40,3
Saturn	93.75218	0,095	14,04
Uranus	16.90062	0,185	12,7

88. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Beſtreben, ſich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen iſt aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Urſache einen nicht durch ſeinen Mittelpunkt gehenden Stoß erhalten habe; ſo hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich ſeine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus ſeiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (I. 259.)

Eilftes Kapitel.

Fixſterne. Größe des Weltalls.

89. Bei weitem der größte Theil der ſichtbaren Sterne beſteht aus Fixſternen. Um ſie nur einigermaßen zu überſehen, hat man den ganzen Himmel gleichſam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Conſtellation oder Sternbild genannt, und jedes mit einem beſonderen Namen bezeichnet, von dem ſich aber durchaus nicht auf die Geſtalt, der die Conſtellation ähnlich iſt, ſchließen läßt. Man lernt ſie kennen, durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf ſtarkem Papier verzeichnet iſt, in dem die Sterne durch runde Löcher vorgeſtellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der ſüdlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beſchreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S. 72—190. Bode's Anleitung zur Kenntniß des geſtirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809. Atlas des geſtirnten Himmels von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1839.)

90. Der erſte Blick auf den geſtirnten Himmel lehrt ſchon, daß nicht alle Fixſterne gleich ſtark glänzen, und daß einige derſelben vorzugsweiſe ſtark leuchten, andere hingegen ein ſo ſchwaches Licht haben, daß man ſie nur in ſehr heiteren Nächten ſieht. Die glänzendſten Sterne heißt man Sterne der erſten Größe, die nächſtfolgenden Sterne der zweiten Größe u. ſ. f. Mit freiem Auge ſieht man nur die Sterne der erſten 6 Größen. Sterne der erſten Größe gibt es nach Einigen 20, nach Andern nur 12, Sterne der zweiten Größe 50—60, der dritten Größe 200 ꝛc. Die glänzendſten darunter ſind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Das Licht des erſteren iſt nach Herſchel 324mal ſtärker als das eines Sternes der ſechsten Größe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Claſſen wächſt mit der Zahl der Claſſen ſehr raſch. Die erſten ſechs Claſſen enthalten ſchon 5000, und die erſten eilf Claſſen nach Lalande 50,000 Sterne; die Sternenmenge der folgenden Claſſen iſt unzählbar.

91. Die Entfernung der Fixſterne von der Erde iſt ſo groß, daß ſie nicht bloß von verſchiedenen Punkten der Erde, ſondern ſogar von jedem Punkte der Erdbahn aus an derſelben Stelle des Himmels erſcheinen, und daher ſowohl der Durchmeſſer der Erde als jener der Erdbahn gegen ihre Entfernung verſchwindet. Aenderte ſich der Platz eines Sternes am Himmel für zwei einander gerade gegenüberſtehende Stellen der Erdbahn, d. h. ihre doppelte jährliche Parallaxe nur um 2″, wäre mithin dieſe Parallaxe ſelbſt nur 1″; ſo betrüge ſeine Entfernung ſchon $\frac{1}{sin\,1''} = 206264$ Halbmeſſer der Erdbahn (Erdweiten), oder 672000 Millionen Meilen, ein Raum, den eine Kanonenkugel einer Geſchwindigkeit von 1000 Fuß für eine Secunde erſt in 2.896000 Jahren zurücklegen würde; aber ein ſolcher Winkel würde bei der großen Vollkommenheit der aſtronomiſchen Meßinſtrumente den Aſtronomen nicht entgangen ſeyn, und man muß demnach die Entfernung des nächſten Fixſternes über dieſe Grenze hinaus verſetzen.

92. Die Größe der Fixſterne läßt ſich eben ſo wenig genau beſtimmen, als ihre Entfernung, weil dazu die Kenntniß ihres ſcheinbaren Durchmeſſers gehört, die uns gänzlich fehlt. Herſchel will den ſcheinbaren Durchmeſſer der Wega $1/3''$, des Aldebaran $1\,1/2''$, der Capella $2\,1/2''$ gefunden haben. Iſt dieſes richtig, ſo müſſen die Halbmeſſer dieſer Sterne 7, 30, 50 Millionen Meilen betragen, und daher unter Vorausſetzung ihrer Kugelgeſtalt die Sonne an körperlichem Inhalte 46656,4173281 und 19465109mal übertreffen.

93. Nicht minder Erſtaunen erregend iſt die Anzahl der Fixſterne. Herſchel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieſer Streif der 1375ſte Theil der Himmelsſphäre iſt, ſo müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß ſie überall eben ſo dicht beiſammen ſtehen. Allein ſie ſtehen an vielen Stellen noch viel dichter, und man kann ohne Uebertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigſtens

einen Stern enthalte, und daher die Geſammtzahl der ſichtbaren Sterne 14850720o ſey. Allein dieſes ſind nur die nächſten Sterne, von den weiter entfernten erkennt man nicht mehr als einen matten Schimmer; wie viele mögen aber bei der nur ſehr unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft ganz unſichtbar ſeyn? Das unbewaffnete Auge ſieht ſelbſt in der heiterſten Nacht nur den kleinſten Theil jener Sterne, welche man mittelſt eines Fernrohrs ſieht, und da ſelbſt die raumdurchdringende Kraft dieſer Inſtrumente beſchränkt iſt, ſo können auch ſie nur wieder die näheren Sterne ſichtbar machen.

94. Die Sterne ſtehen am dichteſten in der ſogenannten Milchſtraße, welche den ganzen Sternenhimmel als eine Zone von ungleicher Breite, die ſich an einigen Stellen in zwei Zonen theilt, faſt in der Richtung eines größten Kreiſes umfaßt. Ihr milchiger Schimmer kommt von dem verworrenen Lichte einer zahlloſen Menge von Sternen her; an den beiden Polen dieſes Gürtels iſt der Himmel am wenigſten mit Sternen beſetzt, je mehr man ſich aber davon entfernt, deſto dichter erſcheinen ſie. Höchſt wahrſcheinlich bilden die Sterne der Milchſtraße ein eigenes Sternenſyſtem, deſſen Mittelpunkt nahe an unſerem Sonnenſyſteme liegt, ein Syſtem, wie es deren mehrere, ja unzählige gibt. Man ſieht nämlich an vielen Stellen des Himmels lichte Stellen, deren einige ſich nur durch vorzügliche Fernröhre in einzelne Sterne auflöſen laſſen, und wieder andere, über welche ſelbſt die beſten Fernröhre nichts vermögen, oder die ſie nur wieder in nebelartige lichte Punkte auflöſen. Man nennt ſie Nebelflecken. Herſchel hat deren über 3000 entdeckt. Auch ein ſolcher würde, gleich der Milchſtraße, die Erde wie ein Gürtel zu umſpannen ſcheinen, wenn dieſe ſich innerhalb desſelben und nicht weit von deſſen Mittelpunkt befände, und umgekehrt würde uns die Milchſtraße, wenn wir uns um 100 ihrer Durchmeſſer außer ihr befänden, nur wie ein Nebelfleck von 17′ erſcheinen.

95. Die Fixſterne müſſen leuchtende Körper, wie unſere Sonne, ſeyn, weil ſie von einer ſo großen Entfernung noch geſehen werden können. Sollten aber wohl dieſe Millionen Sonnen nicht auch von Planeten umgeben ſeyn, denen ſie Licht und Wärme zuſenden? Man kann füglich die Vermuthungen noch weiter treiben und es für wahrſcheinlich halten, daß alle dieſe Sonnenſyſteme ſelbſt wieder eine Bewegung um einen Centralkörper haben. Dieſes machen vorzüglich jene Sterne wahrſcheinlich, die durch Fernröhre als zwei oder gar als mehrere Sterne erſcheinen, und daher Doppelſterne oder mehrfache Sterne heißen. Man kann annehmen, daß unter je 40 Fixſternen immer wenigſtens ein Doppelſtern ſey. Die Entfernung der zwei Sterne eines Doppelſternes ſcheint verſchieden. Es gibt deren viele mit einer Winkelentfernung von weniger als 2″ bis über eine halbe Minute. Faſt immer iſt einer der zwei Sterne leuchtender als der andere, und ſelbſt bei den mehrfachen Sternen ragt einer in der Regel an Lichtſtärke weit über die anderen hervor. Von ſolchen Doppelſternen lehrt nun die Beobachtung, daß ſich die kleineren, min-

der leuchtenden um den leuchtenderen bewegen, und ein durch Attraction verbundenes, beſonderes Syſtem ausmachen. Dasſelbe bemerkt man auch an den mehrfachen Sternen, wo ſich eine ganze Gruppe von Sternen um einen Stern bewegt.

96. Merkwürdig ſind die Veränderungen, die man an einzelnen Sternen bemerkt. Einige haben einen periodiſchen Lichtwechſel, ſo nimmt z. B. Algol innerhalb 69 Stunden an Lichtſtärke ab und zu, ein Stern im Wallfiſche hat eine ſolche Periode von 332, ein anderer in der Waſſerſchlange eine von 494 Tagen. Man glaubt, dieſe Erſcheinung komme von einer Axendrehung der Sterne, durch welche uns bald ein ſtärker, bald ein ſchwächer leuchtender Theil der Sternoberfläche zugewendet wird. Man hat auch ſchon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erſcheinen, einige Zeit ſichtbar bleiben, und dann eben ſo plötzlich wieder verſchwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Caſſiopea ſichtbar wurde. Er erſchien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte ſeine Farbe öfters, und verſchwand nach ſechs Monaten, ohne ſeinen Platz am Himmel zu verändern. Jeder Fixſtern hat auch eine eigene Bewegung im Raume, die aber erſt nach einer langen Reihe von Jahren bemerkbar wird. Ueber die Richtung und Größe dieſer Bewegung läßt ſich noch nichts Sicheres behaupten.

97. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Syſtemen beſtehe, deren Theile durch das Geſetz der gegenſeitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget ſind. Das kleinſte dieſer Syſteme iſt das der Trabanten und ihres Hauptplaneten; das nächſt größere bilden die Planetenſyſteme, deren einem unſere Erde angehört. Millionen ſolcher Planetenſyſteme mit ihren Sonnen bewegen ſich um einen größeren Centralkörper, und bilden wieder ein höheres Syſtem; eine ungemeſſene Zahl ſolcher Syſteme erkennt wieder einen anderen Centralkörper als Beherrſcher, und bildet ein Syſtem, wovon unſere Milchſtraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorſtellt, und ſo überſteigt der ſichtbare Theil der Schöpfung ſchon die engen Grenzen unſeres Verſtandes, und doch iſt er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, deſſen Größe unſer Vorſtellungsvermögen überſteigt. — Nähere Belehrung über dieſen Abſchnitt ſuche man außer den angeführten in folgenden Werken: *Astronomie par M. de Lalande. Paris* 1771—81. *Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot. Paris* 1810. *Astronomie théorique et pratique par M. de Lambre. Paris* 1814. Aſtronomie von Bohnenberger. Tübingen 1811. Theoretiſche und practiſche Aſtronomie von Littrow. Wien 1821. *Traité de mécanique céleste par P. S. Laplace. Paris VII. Traité d'Astronomie théorique par Schubert, Pétersbourg* 1822. Populäre Aſtronomie von J. Littrow. Wien 1825. Populäre Aſtronomie von Frankenheim. 2. Aufl. Braunſchweig 1829. Vorleſungen über Aſtronomie von J. J. Littrow. Wien 1830.

Zweiter Abſchnitt.

Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel.

Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen.

98. Was über die Geſtalt und Größe der Erde bekannt iſt, enthält der erſte Abſchnitt dieſes Theiles. Es iſt aber überdieß noch die Dichte des Erdkörpers als phyſikaliſche Eigenſchaft desſelben bemerkenswerth. Cavendiſh unterſuchte dieſelbe im Jahre 1797 mit einer der Coulomb'ſchen Drehwage ähnlichen Vorrichtung, indem er die Anziehung der Erde mit der einen Maſſe von bekannter Dichte verglich, und fand ſie gleich 5.48. Dubourguet berichtigte dieſes Reſultat, und ſetzte es auf 4.5 herab. Maskelyne leitete die Dichte der Erde von der Anziehung ab, welche ein Berg in Schottland, Namens Shehallien, auf ein Bleiloth ausübte, und fand ſie mittelſt der von Hutton und Playfair beſtimmten Maſſe des Berges gleich 4.71. Carlini endlich beſtimmte die Einwirkung des Mont Cenis auf die Schwingungen eines Secundenpendels, und leitete daraus die Dichte 4.39 ab. Nimmt man 4.71 als wahren Werth der Dichte an, ſo findet man das Gewicht der ganzen Erde gleich 10345960 Trillionen Pfund. Nimmt man an, die Erde ſey einmal flüſſig geweſen, ſo folgt daraus ſchon von ſelbſt, daß ihre Dichte gegen den Mittelpunkt zu immer größer wird, weil da nothwendig die leichteren Maſſen auf den dichteren ſchwimmen mußten. Dieſe Vermuthung wird zur Gewißheit, wenn man bedenkt, daß die Maſſen, welche die Erdrinde bis zu einer Tiefe von 1000 F. bilden, eine mittlere Dichte von 1.52 geben; denn neben dieſem kann obiges Reſultat nur beſtehen, wenn die Erde gegen den Mittelpunkt an Dichte zunimmt, wie ſchon Newton vermuthete, und auch aus Pendelverſuchen unmittelbar folgt. Selbſt die vom Erdmittelpunkte gleichweit abſtehenden Schichten haben nicht einerlei Dichte, ſondern es gibt hierin örtliche Verſchiedenheiten, weil es im Inneren der Erde viele Klüfte und Höhlen gibt, und die Subſtanzen, aus welchen die Erde beſteht, nicht allenthalben genau in derſelben Ordnung auf einander folgen. An Pendelſchwingungen laſſen ſich dieſe Ungleichheiten recht wohl bemerken. Daß demnach die Erde im Inneren nicht hohl ſeyn könne, leuchtet von ſelbſt ein.

99. Die Oberfläche der Erde iſt größtentheils vom Meere bedeckt,

das feſte Land ragt aus dem Meere in Geſtalt drei ſehr großer und vieler kleineren Inſeln hervor. Die größte darunter erſtreckt ſich von 73° nördlicher bis 30° ſüdlicher Breite, und reicht von 150°—360° der Länge, und umfaßt daher eine Ausdehnung von 103° in der Breite und von 210° in der Länge. Sie enthält Europa (phöniziſch: Land der Weißen), Aſien und Afrika (Sandland); die nächſt kleinere Amerika, die dritte iſt Auſtralien. Man rechnet auf Europa 172000 Quad. Meilen, auf Aſien 640000, auf Afrika 530000, auf Amerika 570000, auf Auſtralien 140000, auf geſammte kleinere Inſeln 1000000, daher hat das geſammte feſte Land 3052000 Quadratmeilen, während die geſammte Erdoberfläche über 9 Mill. Quadratmeilen enthält, ſo daß ſich demnach die Oberfläche des Landes zu der des Meeres wie 1 : 2 verhält. Von den größten Inſeln der Erde, welche den Namen Welttheile führen, liegt nur Auſtralien ganz in der ſüdlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden ſich Europa ganz, Afrika und Amerika aber größtentheils in der nördlichen Halbkugel; überhaupt verhält ſich in der ſüdlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum feſten Lande wie 3 : 1, während dieſes Verhältniß in der nördlichen nahe 3 : 2 iſt, auch erſtreckt ſich das bekannte feſte Land in der nördlichen Hemiſphäre weiter gegen den Pol, als in der ſüdlichen. Dagegen hat die ſüdliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inſeln, beſonders nahe am Aequator; die meiſten liegen aber einander ſehr nahe, ſo daß ſie immer ganze Gruppen bilden. Dieſes zeigt ſich beſonders an der Südſeite von Aſien, wo ſich die Inſeln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundſchafts- und die Geſellſchaftsinſel befinden.

100. Der Umriß des feſten Landes und des Meeres iſt nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematiſches Geſetz Gebundenes wahrnehmen könnte. Nur das haben alle Continente mit einander gemein, daß ſie gegen Süden in eine hohe felſige Spitze auslaufen. So endiget Amerika mit dem ſteilen Cap Horn, Afrika mit dem felſigen Cap der guten Hoffnung, Aſien mit dem Cap Komorin, und Neuholland mit dem Südoſtcap. Jeder dieſer Spitzen iſt das äußerſte Ende eines plötzlich abbrechenden, nordwärts laufenden Gebirgszuges. Jeder größere Continent hat an der Oſtſeite ſeiner Südſpitze mehrere Inſeln, Amerika die Falklandsinſel und Staateneiland, Afrika die Inſel Madagascar, Aſien die Inſel Ceylon und Auſtralien die Neuſeelandinſeln. Die Continente der alten und neuen Welt hängen durch Landengen zuſammen, Amerika durch die Landenge Panama, Aſien mit Afrika durch die Landenge Suez; beide Landengen liegen in der nördlichen Halbkugel und in nicht ſehr verſchiedenen Breiten. Uebrigens unterſcheiden ſich die Hauptländermaſſen, die ſogenannten Welttheile, durch ihre Geſtalt auf eine ſehr merkwürdige, mit der Entwicklung der Cultur des Menſchen in Beziehung ſtehende Weiſe von einander: Aſien und das damit zuſammenhängende Europa dehnt ſich vorzugsweiſe von Oſt nach Weſt, Amerika hauptſächlich von

Nord nach Süd aus, während Afrika nach allen Richtungen faſt gleich ausgedehnt iſt. Die Längenausdehnung Europa's und Aſiens erſtreckt ſich von 1° — 200° öſtlicher Länge, jene Afrikas umfaßt nur 43°, die von Amerika etwa 120 Längengrade, während ſich Aſien nicht auf 90°, Europa gar nicht einmal auf 60° der Breite nach erſtreckt, Amerika aber in dieſer Richtung über 128°, alſo über ein Drittel des Erdumfanges einnimmt. Afrika hat die abgeſchloſſenſte Geſtalt und eine ſehr einförmige Küſtenperipherie ohne Einſchnitte und Buchten, es hat im Verhältniſſe ſeine Oberfläche nur eine kleine Berührung mit dem Ocean. Aſien hat beſonders an ſeinen Oſt- und Weſtküſten weit vorſpringende Landzungen und große Einſchnitte. Es hat um ein Viertel mehr Flächeninhalt als Afrika, und eine faſt doppelt ſo große Küſtenlänge als dieſes. Europa hat die mannigfaltigſt geſtalteten Küſten, viele Landzungen und Halbinſeln, es hat viermal weniger Flächenraum, und doch mehr Küſtenlänge als Afrika. Amerika endlich vereiniget in ſich die Geſtaltung Afrika's und Aſiens. Südamerika iſt am meiſten mit Afrika, Nordamerika mit Aſien übereinſtimmend. Die Inſeln zerfallen in Betreff ihrer Geſtalt in langgeſtreckte und runde. Erſtere liegen meiſtens reihenweiſe hinter einander, bilden gewiſſermaßen zuſammengehörige Ketten, und haben im Innern meiſtens Bergreihen, die mit der Hauptausdehnung des Ganzen parallel laufen. Sie können als Splitter der ihnen nächſten größeren Continente angeſehen werden. Die runden Inſeln ſind ſelbſtſtändige Formationen ohne jene Bergketten, und entweder hoch über dem Meere erhoben, mit einer Haupterhöhung im Innern, oder nur wenig über die Oberfläche des Waſſers hervorragend, letztere ſind durchaus Werke der Korallenthiere.

Zweites Kapitel.

Gewäſſer der Erde.

101. Der größte Theil des Waſſers, welches den Erdboden bedeckt, bildet eine große zuſammenhängende Maſſe, das Weltmeer und nur ein kleiner Theil desſelben iſt über dem Feſtlande vertheilt, und bildet mehr oder weniger bedeutende Anſammlungen desſelben, und zwar Quellen, Bäche, Flüſſe, Ströme und Seen. Alles Waſſer der Erde iſt in einem beſtändigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Wärme in Dünſte verwandelt, ſteigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von dieſen wieder als Regen, Schnee, Hagel ꝛc. herab, dringt in die Erde ein, erſcheint wieder auf ihrer Oberfläche, und wird zuletzt dem Meere, als dem allgemeinen Waſſerbehälter, zugeführt.

102. Die Anfänge der fließenden Wäſſer auf der Erde bilden die Quellen. Sie entſpringen vorzugsweiſe an höher gelegenen Orten, jedoch nicht an den höchſten Punkten der Erdoberfläche. Die Frage, woher ſie ihr Waſſer bekommen, hat ſchon die älteſten Naturforſcher beſchäftiget. Weil man aber durchaus wollte, daß allen Quellen die-

ſelbe Urſache Nahrung gebe, und dabei das, was bei einer als Erklärungsgrund hinreichte, der anderen widerſprach, ſo kam man lange nicht ins Reine. Heut zu Tage weiß man mit Grund, daß mehrere Urſachen Quellen erzeugen, und daß ſich ſogar bei derſelben Quelle mehrere Urſachen zugleich wirkſam beweiſen können. Am wirkſamſten erſcheint in dieſer Hinſicht das aus der Atmoſphäre gefallene Waſſer. Dieſes dringt in die Felſenritzen ein, fließt darin fort, bis es einen Widerſtand findet, wird hydroſtatiſch gehoben, und kommt daher an Stellen zum Vorſcheine, wo es die Beſchaffenheit des Bodens geſtattet. Man hat, um die umfaſſende Wirkſamkeit dieſer Urſache zu zeigen, die Waſſermenge zu berechnen geſucht, welche aus einem Lande in einem Jahre mittelſt der Flüſſe weggeführt wird, ſie mit derjenigen verglichen, welche jährlich aus der Atmoſphäre niederfällt, und gefunden, daß letztere die erſtere weit übertrifft, und daß daher, ungeachtet des für das vegetabile und thieriſche Leben nöthigen Bedarfes, noch eine hinreichende Menge als Reſt bleibe, um alle Quellen zu ſpeiſen. So fand Mariotte, daß in der Gegend von Dijon auf eine franzöſiſche Quadratmeile jährlich 238050000 Kubikfuß Waſſer fallen; er verlegte die Quelle der Seine 60 Meilen oberhalb Paris, und nahm an, daß ſie auf eine Breite von 50 Meilen das atmoſphäriſche Waſſer aufnehme. Hierdurch würde ſie jährlich 714150 Millionen Kubikfuß Waſſer erhalten. Er fand aber, daß kaum $1/6$ davon durch die Königsbrücke zu Paris fließe, und daß, wenn auch vom obigen atmoſphäriſchen Waſſer $1/3$ wieder verdünſtet und eben ſo viel für Pflanzen und Thiere verbraucht wird, doch noch $1/3$ zur Unterhaltung der Quellen und Flüſſe übrig bleibe, welches mehr als hinreichend iſt. Wenn auch gegen dieſe Berechnung nicht ungegründete Einwürfe gemacht werden können, wie ſie denn auch wirklich gemacht worden ſind; ſo ergibt ſich doch aus anderen, ſicheren Verſuchen Dalton's, daß das Regen- und Schneewaſſer wenigſtens dreimal das an Menge übertrifft, welches durch die Flüſſe ins Meer geführt wird. Auch durchgeſinterte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwaſſer kann einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen dieſer Art müſſen ſich durch ihr ſalziges Waſſer von den anderen unterſcheiden, weil das Meerwaſſer durch bloßes Aufſteigen, ſey es auch durch die feinſten Spalten und Ritzen, von den chemiſch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann; auch können ſolche Quellen nicht hoch über dem Meeresſpiegel liegen. Weil ſich im Inneren der Erde viele ausgebreitete Waſſerbehälter befinden müſſen, ſo iſt es auch denkbar, daß die durch Beſchaffenheit der Erde oder durch locale Urſachen bewirkte Erwärmung das Waſſer zum Verdünſten bringe; die Dünſte ſteigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zuſtand über, und kommen in ſolchem zum Vorſcheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Waſſer durch die Kraft eines expanſiblen Körpers herausgetrieben wird, und ſo nicht nur eine Quelle überhaupt, ſondern ſogar einen völligen Springbrunnen bildet.

103. Die verſchiedenen Quellen unterſcheiden ſich von einander durch die Menge, Beſchaffenheit und Temperatur ihres Waſſers und durch ihre Beſtändigkeit oder ihren Wechſel. Einige Quellen fließen ununterbrochen, und man bemerkt durchaus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Waſſers; dieſes iſt beſonders bei den gebohrten (arteſiſchen) Springquellen der Fall, deren Waſſerbehälter ſehr tief liegt und von dem atmoſphäriſchen Einfluſſe nur wenig afficirt wird. Die meiſten Quellen erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahreszeiten Aenderungen ihres Waſſerreichthums. Quellen, welche bloß vom Nebel und Regen geſpeiſet werden, nehmen in heißen Sommern allmälig ab, und treten mit dem Beginne der feuchten und regneriſchen Jahreszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Waſſer dem geſchmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee ſchmilzt, den meiſten Zufluß. Einige Quellen fließen nur einige Zeit und verſiegen zu einer anderen gänzlich. In dieſe Claſſe gehören die ſogenannten Hungerquellen oder Theuerbrunnen, die nur bei anhaltender Dürre oder in ſehr regneriſchen Jahren fließen. Andere haben noch kürzere Perioden ihres Fließens und Ausſetzens. Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt ſind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbſt; eine andere im Canton Bern, der ſogenannte Engſtlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte Auguſt, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. Solche Quellen heißen Frühlingsbrunnen und haben in dem, während der warmen Monate, geſchmolzenen Schnee ihren Grund. Quellen, die wie der Engſtlerbrunnen einen täglichen Wechſel zeigen, gibt es mehrere. So ſoll in Peru auf dem Berge Piro eine Quelle ſeyn, die nur Nachts lauft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen ſoll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten ausſetzen, und nur eintretender Regen ſoll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 20 Stunden zweimal Waſſer, ſie fließt 7 Stunden lang und ſetzt dann durch 3 Stunden aus. Das Waſſer der Quelle in Plinius Landhauſe bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieſes periodiſche Fließen hat wahrſcheinlich darin ſeinen Grund, daß ſich im Innern der Erde ein Waſſerbehälter befindet, der mittelſt eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung ſteht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Waſſer im Baſſin ſo hoch ſteht, daß der Heber gefüllt iſt, ſobald aber dieſes geſchieht, läuft es ganz aus. Die berühmteſten periodiſch fließenden Quellen hat Island an ſeinen Springquellen aufzuweiſen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom ſogenannten Geiſer übertroffen, der ſich zwei Tagreiſen vom Hekla befindet. Es iſt hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmeſſer und von unbekannter Tiefe, über welcher ſich das Waſſer ein Becken gemacht hat, deſſen oberer Rand 9 Fuß hoch iſt, und 56 Fuß im Durchmeſſer hat. Durch

dieſe Röhre ſpringt das Waſſer ſiedend heiß verſchiedene Male des Tages auf eine Höhe von 90 Fuß, und führt oft Steine mit ſich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcaniſche Wirkung im Spiele ſey, erleidet wohl keinen Zweifel. Manche Quellen erleiden Veränderungen, welche mit dem Gange der Witterung in Verbindung ſtehen, und heißen deßhalb wetterlaunige Quellen. Einige verurſachen ein Geräuſch bei ſchlechtem Wetter. Von der Art iſt der Polterbrunnen in Paderborn, der Tambour in Auvergne. Die Urſache des Rauſchens liegt im Freiwerden der im Waſſer enthaltenen Luft, welches beim Hervortreten in die Atmoſphäre geſchieht. Andere Quellen werden bei drohendem Regenwetter trübe; dieſes kommt wohl daher, daß dem Regen meiſtens eine Verminderung des Luftdruckes vorhergeht, welche ein Austreten der in oder unter dem Waſſer enthaltenen Luft, und mithin ein Aufrühren des Bodenſatzes bewirkt.

104. Die Temperatur der meiſten Quellen ſtimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo ſie entſpringen, nur in geringen Breiten iſt ſie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig iſt. Bei einigen iſt ſie ſtets geringer als die Lufttemperatur, bei anderen größer. Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet ſich Waſſer, welches das ganze Jahr hindurch ſo kalt iſt, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Waſſerſammlung befindet ſich auf dem Berge Genevre. Medevi am Wetterſee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von $6^1/_2$°. Uebrigens verſteht es ſich von ſelbſt, daß eine Quelle, die eine beſtändige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich iſt, im Sommer kälter, im Winter wärmer erſcheint als die Luft. Quellen, welche wärmer ſind als die Luft, gibt es in ziemlicher Menge. Sie werden meiſtens als Bäder zur Heilung körperlicher Gebrechen angewendet, erhalten ihre Wärme durch örtliche Urſachen, und ſind in der Regel Eigenthum vulcaniſcher Gegenden. Die vorzüglichſten heißen Quellen ſind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Mehadia, Baden bei Wien, Gaſtein im Salzburgiſchen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Aix in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. Die Temperatur warmer Quellen iſt verſchieden. Einige ſind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 79° R., eine bei Oelve auf Island 80°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quelle zu Bath 45°, die heißeſte von Aachen 40°, von Barege $38^3/_4$°, in Gaſtein 38°, in Plombieres 30°.4 — 53°.6. Einige dieſer Quellen haben, ſo weit unſere Wärmemeſſungen reichen, immer dieſelbe Temperatur gehabt, die ſie jetzt haben; andere ſind von ihrem Wärmegrade ſehr abgewichen, beſonders zur Zeit vulcaniſcher Ereigniſſe. Vor ungefähr 30 Jahren verminderte ſich die Wärme einer der Karlsbader Quellen bei einer Erderſchütterung bedeutend, kehrte aber nach einiger Zeit mit der vorigen Kraft wieder zurück; die Quelle zu Bagneres erlitt durch eine ähnliche Erſcheinung eine Temperaturerhöhung.

105. Da das Waſſer in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmaſſen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten; ſo muß es mit verſchiedenen Subſtanzen geſchwängert hervortreten. Am reinſten iſt das Quellwaſſer, welches aus Granit- oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch ſo rein zu ſeyn, wie das Regenwaſſer. Dasjenige hingegen, welches durch Kalkgebirge oder Gipslager fließt, nimmt von dieſen Subſtanzen mehr oder weniger auf, bekommt dadurch einen eigenthümlichen Geſchmack und wird hart. Waſſer, das ſehr viele mineraliſche Beſtandtheile enthält, heißt Mineralwaſſer. Wiewohl das meiſte Quellwaſſer einen Antheil kohlenſaurer Luft mit ſich führt, ſo gibt es doch einiges, das vorzüglich viel davon enthält, dadurch einen ſäuerlichen Geſchmack annimmt, und deßhalb Sauerbrunnen heißt. Solche Wäſſer enthalten auch immer einen ſolchen Beſtandtheil, der ſich mit der kohlenſauren Luft verbindet, ſo daß darin nebſt anderen, auch kohlenſaure Salze vorkommen. Bei vielen ſind dieſes kohlenſaure Alkalien, wie z. B. bei den Brunnen zu Eger, Teplitz, Pyrmont, Bilin, Marienbrunn; nicht ſelten kohlenſaures Eiſen, wie z. B. Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn ꝛc. Einige Waſſer enthalten vorzüglich viel Kochſalz, wie die unzähligen ſogenannten Salzquellen, oder andere ſalzſaure Salze, wie z. B. bei Erfurt, Wiesbaden; andere enthalten Bitterſalz (ſchwefelſaure Bittererde) aufgelöſt, wie z. B. das Seidſchützer, Sedlitzer; andere Glauberſalz, wie das Pilnaer Waſſer in Böhmen; andere verbreiten ringsum einen ſchwefeligen Geruch von enthaltener Schwefelleber (Schwefelkali), wie z. B. das Badnerwaſſer, der Stinkbrunnen zu Marienbrunn, das Aachener- und Weilbacherbad. Seifenartige Waſſer befinden ſich bei Plombiers; ſolche, die ſchwefelſaures Kupfer enthalten, bei Neuſohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden. Sie verwandeln ſcheinbar Eiſen in Kupfer, weil ſich das Eiſen in der Schwefelſäure des Waſſers auflöſet und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieſelſinter führenden und meiſtens heiße Wäſſer haben die Eigenſchaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichſam zu verſteinern. Von der Art iſt beſonders das Karlsbader Waſſer, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig iſt in dieſer Hinſicht die Quelle von Quanca velica, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Dieſe breitet ſich über das nächſte Land aus, und verhärtet ſelbſt zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Baue verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit dieſem Waſſer füllt und ſie einige Zeit ruhig ſtehen läßt.

106. Daß aus der Erde hervorquellendes Waſſer häufig ſolche Stoffe mechaniſch mit ſich fortreißen müſſe, die es nicht chemiſch aufzulöſen vermag, iſt wohl begreiflich. Solche Subſtanzen ſetzen ſich aber, nachdem das Waſſer in Ruhe gekommen, von ſelbſt wieder ab, während man zur Beſtimmung der chemiſch vereinigten beſonders feiner chemiſcher Kunſtgriffe bedarf. Unter allen ſolchen mechaniſch mit dem Waſſer gemengten Stoffen ſind die brennbaren am merkwürdig-

ſten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt ſind. Die Hauptgegend, wo ſich derlei Stoffe in Quellen befinden, iſt unweit der perſiſchen Stadt Baku. Sie ſchwimmen als ſpecifiſch leichtere Körper auf dem Waſſer der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um ſie abſchöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet ſich die Naphta ſelbſt, und dann erſcheint die ganze Waſſerfläche brennend; noch öfter wird ſie abſichtlich in Flammen geſetzt. An einigen Orten kommt ſie ohne Waſſer zum Vorſchein, wie dieſes am ſogenannten Feuerorte der Fall iſt, den die Perſer für heilig halten. Daſelbſt erſcheinen bei trockener Witterung ſtarke, gelblich blaue Flammen, die man mittelſt eines Fächers auslöſchen kann. Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den abgeſtampften Lehmboden ihrer Hütten zu ſtecken und ſeinem oberen Ende ein brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa $^1/_2$ Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000 bis 2000 Fuß Tiefe und 5 bis 6 Zoll Oeffnung, die Waſſer mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann (Zeitſch n. F. 2. 284).

107. Das Waſſer fließt von den Quellen vermöge ſeiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt ſich zu Bächen und endlich zu Flüſſen und Strömen, wovon ſich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren urſprünglichen Namen vom Urſprunge bis zum Ausfluſſe ins Meer behalten. Die Quellen der meiſten Flüſſe liegen in ſehr hohen Gebirgen. So hat der Rhein am St. Gotthard, der Po am Viſo, die Loire in den Sevennen, die Garonne in den Pyrenäen, die Tiber in den Apenninen, die Drau in den Tiroler Alpen, die Elbe im Rieſengebirge die Quelle. Wenn auch einige Flüſſe, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; ſo bekommen doch dieſe ihr Waſſer von Quellen, und man kann den Urſprung der Flüſſe aus Quellen für ein allgemeines Geſetz halten.

108. Der Weg eines Fluſſes verfolgt immer die niedrigſten Stellen der Erdoberfläche. Da nun dieſe nicht in einer geraden Linie liegen, ſo muß auch die Richtung ſeines Laufes verſchieden ſeyn, und ſein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieſer Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte Theil einerlei Strich, und es iſt auffallend, daß bedeutende Flüſſe in ihrem Laufe mehr nach Oſt und Weſt, als nach Nord und Süd gerichtet ſind.

109. Die Neigung des Bettes gegen den Horizont, oder deſſen Gefälle, iſt bei den verſchiedenen Flüſſen verſchieden. Der Amazonenfluß hat auf 1000 F. nur $^1/_{27}$ Zoll Gefälle, die Loire $^4/_5$ F., der Rhein zwiſchen Straßburg und Dortrecht $^1/_6$, die Donau zwiſchen Ulm und Donauwerth $^1/_3$. Ja ſelbſt derſelbe Fluß hat nicht an allen Stellen denſelben Abhang des Bettes. Die Loire fällt an einigen Orten um einen Fuß in 1520 F., an anderen in 2490 F. In der Regel iſt das Gefälle

großer Flüſſe gegen den Urſprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinſten. Ueberhaupt iſt ein Flußbett nicht wie eine mathematiſche geneigte Ebene anzuſehen, ſondern es gibt da eben ſo, wie auf dem feſten Lande, Anhöhen und Vertiefungen, nur iſt die Summe der erſteren kleiner als jene der letzteren, und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle.

110. An vielen Stellen befinden ſich im Flußbette Felſen, welche das daran ſtoßende Waſſer reflectiren und Wirbel erzeugen. Von der Art iſt der Donauwirbel bei Grein. Oft hat es plötzliche Abſätze, über welche das Waſſer mit Gewalt herabſtürzt und einen **Waſſerfall** bildet. Einer der bekannteſten Waſſerfälle iſt der des Staubbaches unweit Bern, der gegen 1100 F. hoch geſchätzt wird, aber nur auf 900 gemeſſen iſt. Der Reichenbach hat einen Waſſerfall von 200 F., der Rheinfall bei Schaffhauſen beträgt 30 F., der Fall des Velino bei Spoleto 200 F. Die zwei Cataracten zu Viigtil unter dem Polarkreiſe haben vielleicht eine Höhe von 1000 F. Ein kleines Bild dieſer Erſcheinungen gewähren wohl auch der Waſſerfall der Traun bei Lambach, der Schleier-, Keſſel- und Bärnfall bei Gaſtein. Die im Alterthume berühmten Nilfälle ſind nicht ſehr anſehnlich, und der größte beträgt nur 50 F. Die größten Fälle hat Amerika aufzuweiſen. Der Niagara hat eine Breite von 720 F., und ſtürzt in zwei Armen über eine Höhe von 137 F. herab; der Sturz des viel kleineren Fluſſes Bogota in Neu-Granada beträgt gar 200—300 Klafter.

111. Die **Breite** des Flußbettes iſt ſo veränderlich wie die Beſchaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein, und bewirken dadurch ein Aufſteigen des Waſſers. Die größte Erſcheinung dieſer Art bietet der Connecticut dar, welcher durch Gebirge von der Breite von 400 Ellen auf 15 Fuß eingeengt wird. Ein ähnliches Phänomen zeigt der gewaltige Amazonenfluß an der Stelle, die Pongo de Manſeriche genannt wird; in ſehr vermindertem Maßſtabe findet dasſelbe mit der Donau vor Grein und bei Orſowa, mit der Elbe bei Leitmeritz und Außig Statt. Gegen den Ausfluß erweitert ſich gewöhnlich das Flußbett bedeutend, und theilt ſich auch nicht ſelten in mehrere Arme. Solche Arme haben der Po und die Donau 7, die Wolga 13. Jedoch iſt die Anzahl dieſer Arme veränderlich, weil das Waſſer immer etwas Sand abſetzt und dadurch ſein eigenes Bett erhöht. Der Nil ſoll vor Zeiten 7 Mündungsarme gehabt haben, jetzt hat er deren nur zwei, die ſchiffbar ſind. Die Verengungen des Flußbettes befinden ſich in der Regel immer da, wo es von Felſenmaſſen durchzogen wird, die Cataracten oder Wirbel erzeugen. Schon dieſer Umſtand macht es wahrſcheinlich, daß die Flüſſe an ſolchen Stellen die Gebirge durchbrochen und ſich mit Gewalt einen Weg gebahnt haben. Hierin wird man noch mehr beſtärkt, wenn man ſieht, daß die Gegenden oberhalb ſolcher Stromengen auffallende Spuren von Ueberſchwemmungen durch ſüßes Waſſer an ſich tragen, wie ſich dieſes an vielen Stellen nachweiſen läßt. Einige Flüſſe haben noch jetzt ganze Gebirge im Wege, aber letztere bieten ihnen Oeffnungen dar, an deren gehöri-

ger Erweiterung das Waſſer gewiß das Seinige gethan hat, und in welche ſie ſich nun ergießen können, ſo daß ihr Lauf eine Strecke hindurch unterirdiſch iſt, und dann wieder zu Tage erſcheint. Hierher gehört die natürliche Brücke in Virginien, welche über den Cedernfluß führt, und gleichſam nur ein Bogen eines eingeſtürzten Kalkgewölbes iſt; ein ähnliches Phänomen ſieht man an den ſogenannten Oefen der Salzach bei Golling. Krain bietet mehrere ſehr intereſſante Fälle dieſer Art dar. Das Bett der Rhone iſt bei der ſogenannten Porte du Rhone auf 60 Schritt weit durch ein Felſenſtück bedeckt; der aſiatiſche Ganges ſtürzt ſich auch in einen Felſen, und kommt eine Strecke davon wieder zum Vorſchein. Einige Flüſſe verlieren ſich im Sande, wie dieſes mit einem Arme des Guadalquivir in Spanien und des Rheins in Holland der Fall iſt; andere nehmen gar in Moräſten ein Ende, ohne wieder zum Vorſchein zu kommen. Wahrſcheinlich geht da das zu ſehr ausgebreitete Waſſer durch Verdünſtung verloren oder gelangt in einen unterirdiſchen Abfluß.

112. Die Waſſermenge, welche ein Fluß führt, iſt in der Regel deſto größer, je länger ſein Lauf iſt, und je mehr Nebenflüſſe oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüſſen der Welt ſind die amerikaniſchen die größten, und unter dieſen zeichnet ſich der Miſſuri, der Amazonenfluß, der St. Lorenzfluß, der Laplata, der Miſſiſſippi und Orinoco vorzüglich aus. Die größten Flüſſe Aſiens ſind: Der Indus, Ganges, Kiangho (blauer Fluß), der Hoangho (gelber Fluß), Amur, Jeniſey, Ob. Die größten afrikaniſchen ſind der Nil, Niger, Senegal, Gambia. Unter den europäiſchen Flüſſen iſt die Wolga der größte. Ueberhaupt ſind die dieſem Welttheile angehörigen im Verhältniſſe zu den Flüſſen der anderen Welttheile nur ſehr klein, ja der einzige Laplata ſoll ſo viel Waſſer führen, als alle europäiſchen Flüſſe zuſammen. Die Waſſermenge eines Fluſſes iſt nicht immer gleich groß. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüſſe ſchwellen die Flüſſe an, treten manchmal ſogar über ihr Bett hinaus und überſchwemmen das Land. Dieſes iſt beſonders bei ſolchen Flüſſen der Fall, in die ſich viele Nebenflüſſe ergießen. Am merkwürdigſten ſind aber jene Ueberſchwemmungen, die immer zu beſtimmten Zeiten eintreten, und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil. Dieſer hat immer vom December bis März das niedrigſte Waſſer, vom März bis Juni wächſt er beſtändig fort, und nimmt hierauf eben ſo wieder ab, wie er anwuchs. Die Urſache dieſer periodiſchen Erſcheinung liegt in den Regengüſſen, welche auf dem Mondgebirge und im abeſſiniſchen Hochlande, wo die Quellen des Nils liegen, vom April bis September dauern. Aehnliche, wenn auch nicht ſo ſegenreiche Ueberſchwemmungen verurſacht auch der Ganges, der Euphrat, der Indus, der Miſſiſſippi und Laplata.

113. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in Flüſſen fortſchreitet, hängt hauptſächlich vom Gefälle ab, und iſt in dieſer Hinſicht wie die Bewegung über eine ſchiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geſchwindigkeit nimmt nicht beſtändig zu, wie dieſes bei

einer ununterbrochenen ſchiefen Ebene der Fall iſt, weil auch das Flußbett dem Laufe des Waſſers viele Hinderniſſe in den Weg ſetzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geſchwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden ſind, und ſich oft ein anderer Fluß einmündet, deſſen Richtung mit jener des Hauptfluſſes einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geſchwindigkeit ſolcher Flüſſe, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieſes bei den amerikaniſchen faſt durchaus, und bei den europäiſchen nahe am Ausfluſſe der Fall iſt, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Waſſer hat auch nicht in allen Theilen eines Querſchnittes dieſelbe Geſchwindigkeit. Ohne alle Hinderniſſe der Bewegung würde die Geſchwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geſchwindigkeit haben, allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet ſich die größte Geſchwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben ſo iſt die Geſchwindigkeit an verſchiedenen Punkten der Breite verſchieden, woran wohl die Hinderniſſe, welche die Ufer dem Fluſſe in den Weg ſetzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geſchwindigkeit am größten iſt, den Stromſtrich. Dieſer befindet ſich bei geraden Ufern meiſtens in der Mitte, bei gekrümmten iſt er aber dem hohlen Ufer am nächſten. Da bei einem Fluſſe, der weder im Anſchwellen, noch Abnehmen begriffen iſt, durch jeden Querſchnitt gleich viel Waſſer fließen muß, wenn ſich nicht inzwiſchen ein anderes Gewäſſer in ihn ergießt; ſo muß ſeine mittlere Geſchwindigkeit deſto größer ſeyn, je enger das Flußbett iſt. Daher hat der Connecticut dort, wo er durch Felſen ſehr eingeengt wird, eine ſolche Geſchwindigkeit, daß er die ſchwerſten Metalle mit ſich fortreißt, ohne ſie untergehen zu laſſen, und daß man ſelbſt mit Gewalt kein Brecheiſen ins Waſſer ſtoßen kann; aus dieſem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. ſ. w. die Geſchwindigkeit der Flüſſe ſo ſehr. Die ſchnellſten Flüſſe des Erdbodens ſind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Erſtere hat im unteren Theile ihres Laufes 5 F., letzterer gar 7 F. Geſchwindigkeit. Um ſich die große Geſchwindigkeit der Donau erklären zu können, muß man ihren langen Lauf von 250 Meilen in Betrachtung ziehen und bedenken, daß ſie, ungeachtet ihre Quelle nicht hoch liegt, doch viele an hohen Orten entſpringende Flüſſe aufnimmt, wie z. B. den Inn, die Drau u. d. m.

114. Die Oberfläche des Waſſers eines Fluſſes iſt nicht eben, ſondern convex oder hohl. Erſteres findet bei Flüſſen Statt, die in der Strombahn bedeutend ſchneller fließen, als in den übrigen Theilen; letzteres bemerkt man beim Auslaufe der Flüſſe ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert ſie die Geſchwindigkeit des Waſſers außerhalb des Stromſtriches weniger als im Stromſtriche, und macht, daß jenes höher ſteht als dieſes.

115. Das Flußwaſſer iſt ſo wenig rein als irgend ein Quellwaſſer, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineraliſches Waſſer führt, wenn man einige kleine Bäche im ruſſiſchen Reiche und ein Paar Flüſſe

in Nordafrika ausnimmt, die Kochſalz führen, und wovon einige ſo ſalzig ſind, daß ihr Waſſer gar nicht getrunken werden kann. Die Beſtandtheile, welche das Waſſer mit ſich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem ſchnellen Laufe zum Theile mechaniſch mit fortgeriſſen und bei geringer Geſchwindigkeit wieder abgeſetzt. Von ſolchen Theilen hat dann auch das Waſſer ſeine Farbe. Das hellſte Waſſer führt der Euphrat, Ganges und die Themſe, der Nil hat ein weißes Waſſer, wenn er nicht hoch ſteht, der Hoangho in China iſt gelb; nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffehbraune Flüſſe. Manche Flüſſe führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, die Phaſis in Aſien, und beſonders die Flüſſe in Guinea.

116. Es wäre ſehr intereſſant, die Waſſermenge zu kennen, welche alle Flüſſe zuſammen ins Meer tragen. Um dieſe zu finden, müßte man die mittlere Geſchwindigkeit und den Durchſchnitt jedes Fluſſes genau kennen, was aber jetzt bei weitem noch nicht der Fall iſt. Um genäherte Reſultate zu erhalten, ſetzt man dieſe Waſſermenge den Stromgebieten proportional, d. i. dem Flächeninhalte der Gegend, die ihnen Waſſer zuſendet. Dieſe findet man 250mal größer als die des Rheins, von dem man aus Meſſungen weiß, daß im Mittel durch ſeinen Querſchnitt am Niederrhein jährlich 0.1959 Kubikmeilen Waſſer fließen. Hierdurch erhält man für die Waſſermenge aller Flüſſe den genäherten Werth von ungefähr 49 K. Meilen, welche man wegen häufigem Anſchwellen der Flüſſe wohl auf 75 erhöhen kann.

Die Erfahrung lehrt die Stromgebiete in geogr. Meilen, wie folgt:

Amazonenfluß	88,305	Don	6,088
Plata	71,665	Weichſel	3,578
Lorenzſtrom	62,330	Duero	1,638
Miſſiſſippi	53,636	Tago	1,357
Ob	63,776	Seine	1,236
Jeniſei	47,001	Loire	2,378
Lena	36,483	Garonne	1,443
Amur	53,559	Po	1,410
Hoangho	33,686	Trent	0,439
Ganges	22,224	Donau	4,412
Wolga	30,154	Rhein	3,598
Nil	32,620	Weſer	0,874
Senegal	25,614	Elbe	2,800
Dwina	5,890	Oder	2,072

117. Wenn das Waſſer wegen der zu tiefen örtlichen Lage nicht abfließen kann, ſo bildet es einen See oder Sumpf. Erſteres findet dann Statt, wenn das Waſſer eine beträchtliche Ausdehnung und eine ſo große Tiefe hat, daß Waſſerpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen; letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächſe, die am Boden wachſen, unterbrochen iſt.

118. Das Entſtehen eines Sees kann man ſich auf mannigfaltige Art erklären, und die Richtigkeit dieſer Erklärungsarten an verſchiedenen Waſſerſammlungen nachweiſen. Entſteht eine Quelle von

hinlänglichem Waſſerreichthume, und die durch einen ſtarken Druck herausgetrieben wird, in einer keſſelförmigen Vertiefung; ſo muß das Waſſer den Keſſel ſo weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet, oder bis die Oberfläche ſo weit vergrößert wird, daß durch Verdünſtung ſo viel Waſſer verloren geht, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden und aus ihnen kommen oft die namhafteſten Flüſſe hervor. Der See Iwan, aus dem der Don entſpringt, und viele Seen in Amerika ſind von dieſer Art. Es kann auch geſchehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche keſſelförmige Vertiefung kommt, wo er ſich ausbreiten und ſo eine örtliche, einen kleinen See vorſtellende Erweiterung ſeines Bettes erleiden muß, oder daß er in ſeinem Laufe auf Hinderniſſe geräth, die eine Anſchwellung des Waſſers, und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Waſſer, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, ſo daß es den Anſchein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig exiſtirenden See ginge, oder es kann die Waſſermaſſe ſo viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verluſt durch Verdünſtung und der Zufluß durch den Strom ſich das Gleichgewicht halten. Im erſten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf ſichtbarem Wege Waſſer auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. In die Reihe erſterer Seen gehört der Genferſee, durch den die Rhone fließt, der Koſtnitzer See, den der Rhein durchſtrömt, im öſterreichiſchen Salzkammergute der Trau- und Hallſtädterſee. Nordamerika hat deren ſehr viele aufzuweiſen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caſpiſche Meer genannt wird, den Aralſee, das todte Meer u. ſ. f. Erſterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen ſichtbaren Abfluß zu haben. Ueberdieß können auch noch Ueberſchwemmungen, Erdfälle und vulcaniſche Ausbrüche Seen erzeugen. Oſtfriesland hat noch jetzt einen unterirdiſchen See, der mit einer feſten Erdrinde überzogen iſt. Stürzt dieſe ein, ſo iſt die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entſtanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingeſtürzten Vulcane ſein Entſtehen.

119. Die Seen ſind auf der Erde verſchieden vertheilt, jedoch kommen in gemäßigten und kalten Gegenden mehr vor, als in heißen, wahrſcheinlich weil daſelbſt die Verdünſtung durch die höhere Temperatur ſo ſehr begünſtigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüſſen nicht ſo leicht das Gleichgewicht halten kann. Es iſt kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So ſcheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu ſeyn. Nach Herodot war ganz Theſſalien ein von Bergen umſchloſſenes Gewäſſer. Das Verſchwinden der Seen kommt wahrſcheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche ſich das Waſſer einen Ablauf bildete.

120. Die Größe und Geſtalt der Seen iſt ſehr mannigfaltig. Der caſpiſche See iſt einer der größten auf der Erde. Sein Flächen-

inhalt beträgt 5000 — 6000 Quadratmeilen. Von großer Ausdehnung iſt auch der Baikal- und Aralſee in Aſien, der Wenner- und Wetterſee in Schweden, der Ladoga- und Onegaſee in Rußland. Bei den meiſten Seen iſt eine Dimenſion gegen die andere vorwaltend, beſonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern ſich mehr der Kreisform.

121. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe. So findet man im Wetterſee an einigen Stellen bei 300 Klafter keinen Grund. Der ſchottländiſche See Tay iſt tiefer als 600 Klafter, und der Genferſee hat an der ſavoiſchen Seite ziemlich nahe am Ufer 800 — 900 F. Tiefe. Indeß iſt die Tiefe eines Sees eben ſo wenig unveränderlich als die eines Fluſſes. Gebirgsſeen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren ſich gar periodiſch, und füllen ſich dann wieder, wie dieſes beim Cirknitzerſee in Krain der Fall iſt. Solche Phänomene laſſen ſich ganz genügend aus einer Heberwirkung erklären, die dann beginnt, wenn die in der Erde befindlichen, den Heber vertretenden Höhlen ſo weit mit Waſſer erfüllt ſind, daß es die Abflußöffnungen erreicht.

122. Das Seewaſſer iſt nicht rein, ſondern enthält die mannigfaltigſten chemiſch aufgelöſten und mechaniſch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigſten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöſtes Kochſalz, wie z. B. der caſpiſche See, und viele im nördlichen Aſien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das ſogenannte todte Meer enthält, außer einer ſehr bedeutenden Menge Kochſalz, auch noch insbeſondere das ſogenannte Judenpech. Dieſes ſteigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchſäulen und übelriechende Ausdünſtungen ſeine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcaniſche Thätigkeit vermuthen laſſen.

123. Sümpfe und Moräſte entſtehen nur da, wo die Beſchaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht ſo beſchaffen iſt, daß ſich ein See bilden könnte, und doch das Waſſer nicht ablaufen kann. Die meiſten Sümpfe hat Afrika aufzuweiſen. Moräſte gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

124. Das Weltmeer iſt die ungeheure Waſſerſammlung, welche ein unter ſich zuſammenhängendes Ganzes ausmacht und das feſte Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feſte Land ein und bildet Arme, die man Meerbuſen nennt, wohl auch große Binnenmeere, hat in ſeinen Theilen verſchiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder weſentlichen Merkmalen hergenommen ſind, und überhaupt viel Willkürliches an ſich haben. Die vorzüglichſten Theile des Weltmeeres ſind: 1) Das atlantiſche Meer, zwiſchen Europa und Nordamerika bis zum nördlichen Polarkreiſe; 2) das äthiopiſche Meer, zwiſchen Afrika und Südamerika; 3) das indiſche Meer, zwiſchen den beiden Halbinſeln Indien und der Oſtküſte Afrika's; 4) das ſtille Meer von der öſtlichen Grenze des indiſchen Meeres bis zur Weſtküſte von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole

bis an die Nordküſten von Europa, Aſien und Amerika; 6) das ſüdliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopiſchen, indiſchen und ſtillen Meere. Die vorzüglichſten Meerbuſen ſind das mittelländiſche Meer, das ſelbſt wieder als beſondere Meerbuſen, das adriatiſche und ſchwarze Meer bildet, die Oſtſee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabiſcher Meerbuſen), der perſiſche Meerbuſen, die Meerbuſen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtſchatka (Ochozker Meer) und von Californien, der mexicaniſche Meerbuſen, die Baffins- und Hudſonsbai ꝛc.

125. Die Seiten des Meeresbeckens, welche man insgemein Küſten nennt, erheben ſich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen ſteil gegen das Waſſer ab, an anderen ſind ſie nicht viel höher als der Waſſerſtand. Hohe, ſchroffe, felſige Küſten ſind meiſtens dort, wo das Meer tief und ſehr ſtürmiſch iſt, ſie ſind aber wahrſcheinlich durch das Meer ſelbſt erzeugt, indem das Land ſo lange weggeſchwemmt und untergraben wurde, bis Felſen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Die höchſte bekannte Küſte der Erde iſt die an der Weſtſeite von St. Kilda, einer der hebridiſchen Inſeln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F. über die Meeresfläche. Die norwegiſchen Ufer ſind auch faſt durchgängig ſteil und hoch. Zu den niedrigſten Küſten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunſt dem Meere abgewonnen wurden, und beinahe niedriger als das Waſſer ſind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Waſſerſtand hervorragende Sandhügel, welche durch das Meer oder durch Flüſſe angeſchwemmt wurden und Dünen heißen. Durch allmälige Vergrößerung ſchließen ſie ſich an die Küſten unmittelbar an, und werden zu einem eigentlichen Geſtade. Von dieſen muß aber der ſogenannte Strand unterſchieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Waſſer aus demſelben hervorragt, bei hohem aber von demſelben überdeckt wird, und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günſtige Umſtände zu einer Düne und endlich gar zu feſtem Geſtade werden.

126. Der Meeresboden iſt im Ganzen wenig bekannt. Es läßt ſich aber ohne weitere Unterſuchung einſehen, daß er ſo wie das feſte Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen hat. Die meiſten Inſeln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen feſten Landes liegt, zum Beweiſe, daß dieſe Ketten ſelbſt unter dem Meere fortlaufen. Auch das Geſtein, welches die Küſten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, ſo daß man wohl annehmen kann, die Beſtandtheile des feſten Landes ſeyen mit denen des Meeresbodens im Allgemeinen übereinſtimmend. Ungeachtet dieſer Uebereinſtimmung der Beſtandtheile des Meeresbodens und des feſten Landes, hat erſterer doch einiges Eigenthümliche. Dahin gehören die in einigen Gegenden des Meeres, beſonders in der Südſee, ſo häufigen Korallenbänke. Dieſe erheben ſich vom Grunde des Meeres zu einer ſolchen Höhe, daß ſie oft nahe an den Waſſerſpiegel reichen und

unzähligen Inſeln zur Unterlage dienen, oft aber vom Waſſer bedeckt bleiben und die Schifffahrt ungemein gefährlich machen.

127. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meeresbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Reſultate über dieſen Punkt, weil ſeine Unterſuchung zu ſchwierig iſt. Das ſicherſte Mittel, die Tiefe zu meſſen, iſt ohne Zweifel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieſes läßt ſich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche ſpecifiſch leichter iſt als das Waſſer, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabſinkt. Deßhalb bedient man ſich zur Erforſchung bedeutender Tiefen, ſogenannter Bathometer. Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art gab Hook an. Es beſteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine ſpecifiſch ſchwerer, der andere ſpecifiſch leichter iſt als Waſſer. Läßt man ſie ins Waſſer, ſo macht ſich der leichtere alſogleich vom ſchwereren los, ſobald er den Meeresboden erreicht hat, und ſteigt in die Höhe, ſo daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Unterſinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. Die Tiefe wechſelt von einigen Ellen bis zu mehreren hundert Schuhen. Die größte gemeſſene Tiefe ſoll 1200 Klafter betragen. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man ſich vom feſten Lande entfernt, und zwar deſto ſchneller, je ſteiler die Küſten aufſteigen. Sehr ſteile Küſten haben ſelbſt zunächſt an ſich ſo große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung geſtatten. Merkwürdig iſt der ſchnelle Wechſel der Tiefe in Gegenden, wo ſich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beiſpiel des letzteren Falles mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 Seemeilen lang, 20 breit iſt, und 40 Klafter unter Waſſer ſteht, ſo, daß die Schiffe ohne Gefahr darüber ſegeln können, zu beiden Seiten aber iſt das Meer unergründlich tief.

128. Die Farbe des Meerwaſſers iſt gewohnlich grünlich, ins Blaue ſpielend; jedoch können der verſchiedene Zuſtand der Luft, die Beſchaffenheit des durchſcheinenden Bodens, beigemiſchte organiſche Stoffe die Farbe verſchieden modificiren. An den weſtindiſchen Inſeln iſt das Waſſer ſo durchſichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenſtand bemerkt, und ein Fahrzeug in dieſem Gewäſſer wie in der Luft zu hängen ſcheint. Von beſonderer Klarheit ſoll das Waſſer im arabiſchen Meerbuſen ſeyn; im rothen Meere erſcheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei ſtürmiſchem Wetter erſcheint das Meer weiß; vor der Mündung des Plataſtromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Urſache dieſer Färbung angeſehen. An der weſtlichen Seite Afrika's, zwiſchen 20 — 34° nördlicher Breite und um Florida, iſt das Meer wie eine Wieſe, grün gefärbt, weil es von organiſchen Stoffen ganz überzogen wird.

129. Eine für die Seefahrer ſehr intereſſante Erſcheinung iſt das Leuchten des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff ſo, wie es das

Waſſer durchſchnitten hat, leuchtende Furchen hinter ſich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zuſammenſchlagen; oft erſcheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es iſt als ausgemacht anzuſehen, daß dieſes Phänomen durch kleine Thiere (Meduſen, Salpen, Beroen, Phyſalien, Phyſſophoren, Rizophyſen ꝛc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, beſonders wenn dieſes durch Reibung und Wärme begünſtiget wird.

130. Das Meerwaſſer hat einen bitteren und ſalzigen Geſchmack, und bekommt leicht, wenn es in Ruhe ſteht, einen üblen Geruch; erſterer kommt von den in demſelben aufgelöſten Salzen (ſalzſaurer, ſchwefelſaurer und kohlenſaurer Bittererde, kohlenſaurem Kalk, Kochſalz) her. Die Salzigkeit des Meerwaſſers iſt in verſchiedenen Meeren und in verſchiedenen Längen- und Breitengraden verſchieden. Das Waſſer des atlantiſchen Meeres iſt ſalziger als jenes der Südſee, und der indiſche Ocean iſt gegen den atlantiſchen Ocean hin ſalzreicher als gegen die Südſee zu. Im atlantiſchen Meere iſt die Salzigkeit am weſtlichen Theile größer als am öſtlichen; die Südſee ſcheint aber in allen Längengraden einerlei Salzigkeit zu haben. In den großen Oceanen gibt es ſowohl am nördlichen als ſüdlichen Theile ein Maximum der Salzigkeit. Das nördliche ſteht weiter vom Aequator ab, als das ſüdliche. Der verſchiedene Salzgehalt des Meerwaſſers iſt Urſache ſeiner verſchiedenen Dichte, die man durchſchnittlich mit 1.02 angibt. An Stellen, wo das Meer tiefer iſt, und welche von den Küſten entfernter ſind, iſt auch das Waſſer ſalzreicher; Meerbuſen, die mit dem großen Oceane nur durch ſchmale Canäle zuſammenhängen, ſind ärmer an Salz, als der weite Ocean; das mittelländiſche Meer iſt allein der ſtärkeren Verdünſtung wegen daran reicher. Große, ſich ins Meer ergießende Ströme, vermindern die Salzigkeit desſelben, und äußern dieſen ihren Einfluß oft meilenweit von der Mündung. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) iſt der Salzgehalt des Meeres vom Aequator bis 45° Breite in allen Tiefen innerhalb 1000 Klaftern derſelbe. Der Salzgehalt des Meeres, zu deſſen Erklärung viele, zum Theile ſehr ſonderbare Hypotheſen aufgeſtellt worden ſind, kommt demſelben ohne Zweifel urſprünglich zu, und die Salzlager, welche man auf dem Continente ſo reichlich antrifft, ſind demnach Sedimente des Meeres, das einſt dieſe Gegenden bedeckte. Damit ſtimmt der Umſtand vollkommen überein, daß ſich bei Salzlagern auch Ueberreſte von Seethieren und Seepflanzen finden. In dem berühmteſten aller Salzlager, bei Wieliczka, ſieht man deutlich, wie das Salz den Lauf der Karpathen verfolgt, und da, wo es an die Berge grenzt, mit einer ſolchen Biegung aufhört, wie ſie beim Wellenſchlage nothwendig entſtehen mußte; auch findet ſich unter den dortigen Salzgattungen eine etwas bitter ſchmeckende. Die Verſchiedenheit des Salzgehaltes rührt von der verſchiedenen Ausdünſtung, und dieſe von der größeren oder geringeren Bewegung der Luft über dem Waſſer, und von ihrer Temperatur ab.

131. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von ſeiner Schwere ab-

hängende fortſchreitende Bewegung hat, ſo gibt es doch mannigfaltige Bewegungen ſeiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung ſind. Dahin gehören die Ebbe und Fluth, beſtändige, periodiſche und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenſchlag.

132. Unter Ebbe und Fluth verſteht man das periodiſche Abnehmen und Anſchwellen des Waſſers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und dieſe wechſelt nach einer gleichen Zwiſchenzeit wieder mit der Fluth; doch verſpätet ſich die periodiſche Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr ſo viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zuſammenfällt. In offener See ſchwillt das Waſſer von Oſten her an, und läuft gegen Weſten wieder ab; an den Küſten wird aber ſowohl die Richtung als die Geſchwindigkeit und Größe des Zu- und Abſtrömens durch die beſondere Lage und die Krümmungen der Küſten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüſſe und durch Winde bedeutend modificirt. Zwiſchen den Orkneiund den ſchetländiſchen Inſeln fließt das Waſſer von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisſtraße kommt es von S. und fließt nach N. ab; die mittlere Geſchwindigkeit des Zu- und Abfluſſes wird in offener See zu 2 F. angenommen, an den Küſten fällt ſie oft ſo klein aus, daß auf einen Tag ſtatt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieſes bei Weſtindien der Fall iſt; auch erfolgt der Zu- und Abfluß nicht immer mit derſelben Geſchwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Waſſer einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu, und nur 3 St. lang ab; bei Vera Cruz dauert der Zu- und Abfluß gar 24 St., und es herrſcht daſelbſt während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe. Die Höhe der Fluth iſt nicht immer dieſelbe, ſondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, und dieſe ſtehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphaſen und mit der Entfernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachſen ſie, und gegen die Zeit der Viertel nehmen ſie wieder ab; doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erſt 1½ Tag nach dem Voll- oder Neumonde ein, und auch die kleinſten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beſchleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Oppoſition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derſelbe von der Quadratur der Conjunction und Oppoſition entgegengeht. Selbſt die Springfluthen ſind periodiſchen Ungleichheiten unterworfen; ſie ſind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwende am kleinſten, doch ſind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens ſtärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie ſich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachſen die Fluthen ſo, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zuſammentrifft. — Beim Ausfluſſe der Elbe

beträgt der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Waſſerſtande 10 — 12 F., bei den canariſchen Inſeln ſteigen die Springfluthen auf 7 — 8 F., an den portugieſiſchen und ſpaniſchen Küſten auf 12 F., in der Bai von Biscaya auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherbourg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüſſe hinein, und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

133. Man leitet heut zu Tage allgemein Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab, und rechtfertiget dieſes durch genaue Berechnung dieſer Phänomene aus der Gravitation. Dieſe Berechnung beruht auf Folgendem: Es ſey C (Fig. 374) der Mittelpunkt der Erde, dieſelbe ſey ringsum von Waſſer bedeckt, und dieſes habe in jenem Gleichgewichtszuſtande, in welchen es bloß durch die irdiſche Schwere verſetzt wird, die Geſtalt acbd. Iſt A ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt, und ſeine Entfernung von derſelben von ſolcher Größe, daß gegen ſie der Erdhalbmeſſer nicht verſchwindet, und daher die Theile in a, c, b, d, C eine verſchiedene Anziehung erleiden; ſo kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter beſtehen, und die Flüſſigkeit wird eine andere Geſtalt annehmen müſſen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da a mehr gegen A hin gezogen wird, als C, letzteres hingegen mehr als b, ſo wird ſich dem Körper A die Oberfläche des Waſſers in a mehr, in b aber weniger nähern, als der feſte Theil der Erde, deſſen Annäherung an A jener ſeines Mittelpunktes gleich iſt, und das Waſſer nimmt demnach die Geſtalt $\alpha\gamma\beta\delta$ an. Es käme das Waſſer ins Gleichgewicht, wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper A keine Bewegung hätte; vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers A um dieſelbe bleibt es aber in ſteter Bewegung, es ſtrömt fortwährend von c und d nach a und b hin, aber die Stellen a und b rücken ſelbſt um die ganze Erde herum. Iſt nun A der Mond, ſo begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derſelben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weiſe wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner ſeyn, ungeachtet ihre Anziehung größer iſt, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde ſo groß iſt, daß ſie die Punkte a, b, c, d und C faſt gleich ſtark anzieht. Fallen die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zuſammen, ſo geht daraus eine Springfluth hervor; fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, ſo reſultirt daraus eine Nippfluth. Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Waſſer bedeckt angenommen. Wenn auch dieſes in der Wirklichkeit nicht Statt findet, ſo wird dadurch im Weſen der Theorie doch nichts geändert, ſondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieſer wichtigen Erſcheinung findet man in La Place *mécanique céleste, Tom. II. p.* 63 *et s. Tom V. p.* 145, und in Schmidt's Handb. der math. und phyſ. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532.)

134. Die Strömungen ſind vorzüglich für die Schifffahrt

von großer Wichtigkeit, und werden darum von den Seefahrern fleißig beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrſchenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verſchiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwaſſers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareiſes, von der ungleichen Ausdünſtung, von Ungleichheiten des Bodens, und endlich von der durch einſtrömende Flüſſe mitgetheilten Geſchwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen iſt der Aequatorialſtrom (von den Holländern Dienung genannt) der wichtigſte; er herrſcht zwiſchen den Wendekreiſen, ja ſelbſt bis zum 28ſten Grad nördlicher Breite, und fließt mit einer mittleren Geſchwindigkeit von 9—10 Meilen in 24 St. im Allgemeinen von Oſt nach Weſt, aber durch den Widerſtand der Küſten erhält er oft eine andere Richtung. Ein anderer wichtiger, beſtändiger Strom iſt der Golphſtrom. Dieſer entſteht durch den Aequatorialſtrom im mexicaniſchen Meerbuſen, geht Anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöſtlich und dann öſtlich, und wird dabei immer breiter und langſamer. Oeſtlich von Boſton iſt er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit, und hat eine Geſchwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45°—50° nördl. Br. theilt er ſich in zwei Arme, wovon einer ſüdlich geht und unter Madeira wieder zu ſeinem Urſprunge zurückkehrt, der andere aber in nordöſtlicher Richtung gegen die Küſten von Europa zieht, an den norwegiſchen und irländiſchen Küſten gleichſam reflectirt wird, nach Weſt zurückkehrt, und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisſtraße kommenden Strome vereint gegen die Oſtküſte Grönlands zugeht. Man erkennt ſein Daſeyn leicht aus der höheren Temperatur, aus der blauen Farbe ſeines Waſſers und dem häufigen Tange, den er mit ſich führt. Es gibt noch viele andere beſtändige Ströme, aber ſie ſind noch nicht ſo genau unterſucht, wie die vorhergehenden. Ein ſolcher geht vom baltiſchen Meere ins deutſche, vom ſchwarzen Meere in den Bosphorus und ſeitwärts wieder zurück rc. Auch viele periodiſche Strömungen ſind bekannt. Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Waſſer um das Cap Horn und Feuerland vom ſtillen in den atlantiſchen Ocean. Im indiſchen und chineſiſchen Meere gibt es mehrere periodiſche Strömungen. Vom October bis Mai ſtrömt das Waſſer in das rothe Meer, und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chineſiſchen Meere herrſcht von Mitte Mai bis Mitte Auguſt ein nordöſtlicher, und von Mitte Auguſt bis Mitte Mai ein ſüdweſtlicher Strom. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und den Wechſel des Waſſerreichthums einmündender Flüſſe erzeugt werden. — Stoßen ſtarke Ströme in entgegengeſetzten Richtungen auf einander, ſo entſtehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerſtand des Waſſers an Felſen, auch durch Reflexion desſelben bedeutend verſtärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr ſo fürchterlich ſind, als ehemals. Solche Wirbel ſind die ſogenannten Scylla und Charibdis, der Mahl- oder Moskeſtrom an der norwegiſchen Küſte, der chalcidiſche Strudel zwiſchen Euböa und Attika, mehrere Wirbel im indiſchen Meere, bei Japan rc.

135. Durch den Stoß des Windes entſtehen die Wellen. Bläſt der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Waſſers parallel, ſo kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er ſie aber ſchief, ſo wirkt er, wie ein in das Waſſer geworfener Körper. Aus S. 194 u. f. iſt klar, nach welchen Geſetzen alles vor ſich geht. — Die Höhe und Breite der Wellen richtet ſich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge ſeiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Waſſers, daher man auch letztere aus dem Wellenſchlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 F., ſie iſt in der Nordſee größer als in der Oſtſee und im mittelländiſchen Meere, im atlantiſchen Oceane ſind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenſchlag iſt nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege ſtehen; an Felſen entſtehen die ſogenannten Brechen (reflectirte Wellen), und an Ufern die Brandungen. (Syſtem einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von Otto. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Feſtes Land.

136. Eben ſo mannigfaltig, wie ſich das feſte Land in Bezug auf ſeine äußeren Umriſſe darſtellt, erſcheint es auch hinſichtlich der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche. Dasſelbe Land erhebt ſich in verſchiedener Höhe über das Meer, und ſteigt in der Regel deſto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt iſt. Der Verticalabſtand der größten Höhe von der kleinſten, iſt nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchſten Berges über die Meeresfläche, ſo erhält man für jenen Abſtand etwa 6000 Klafter, und dieſe machen den 573ſten Theil des Erdhalbmeſſers. Demnach ſind ſelbſt die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verſchwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe **Berge** oder **Hügel**, und die tieferen Stellen zwiſchen Erhöhungen werden **Thäler** genannt. Die Berge hängen meiſtens reihenweiſe zuſammen und bilden große Maſſen (Gebirgsketten), die über den benachbarten Boden hervorragen und an verſchiedenen Punkten noch höher aufſteigende Gipfel als beſondere Berge darſtellen, doch gibt es auch viele einzeln ſtehende Berge. Die allgemeinſte Form einer Gebirgskette iſt die eines dreiſeitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach, und wovon die obere Kante das **Joch**, die Seitenflächen die **Abfälle** und die unteren Theile des Abfalles den **Fuß** derſelben ausmachen. — Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten ſich vereinen, bilden die **Knoten** des Gebirgsſyſtems, und von da aus werden ſie durch große Thäler von einander getrennt, die man **Hauptthäler** (Längenthäler) nennt.

137. Die Höhe eines Berges kann im zweifachen Sinne genommen werden. Entweder verſteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels von ſeinem Fuße oder die Erhöhung desſelben über die Meeresfläche. Im letzteren Falle denkt man ſich eine Linie vom Mittelpunkte der Erde bis zum Gipfel eines Berges, und eine andere bis zur Meeresfläche in derſelben geographiſchen Breite mit dem Berge gezogen. Der Unterſchied dieſer zwei Linien gibt die Höhe des Berges in der zuletzt genannten Bedeutung. Dieſe Höhe iſt von der erſteren ſehr verſchieden, weil der Fuß eines Berges ſelbſt oft ſchon auf einer bedeutenden Anhöhe ſteht. Man beſtimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivelliren oder durch trigonometriſches Ausmeſſen, oder mittelſt des am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Luftdruckes. Das erſtere Verfahren iſt mühſam und oft gar nicht ausführbar, und gibt ſelbſt im günſtigſten Falle nur die Erhöhung des Berges über ſeinen Fuß; letzteres gilt auch von der zweiten, die überdieß auch noch durch die irdiſche Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenſtände vergrößert, unſicher gemacht wird, wenn man nicht zugleich die Meſſungen ſo einrichtet, daß man daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erfährt; die dritte iſt am leichteſten ausführbar, und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorſicht vernachläßiget.

Iſt P der Luftdruck an der Baſis eines Berges, P' der Luftdruck in einer um eine Längeneinheit höheren Station, und ſetzt man $\frac{P'}{P} = Q$, ſo wird der Luftdruck a in einer um m Einheiten über die Baſis erhöhten Station durch PQ^m und der Luftdruck b in einer um n Einheiten erhöhten Station durch PQ^n ausgedrückt, und man hat:

$$Q^m = \frac{a}{P},\ Q^n = \frac{b}{P};\ m \log Q = \log\frac{a}{P},\ n \log Q = \log\frac{b}{P},$$

mithin aus beiden Gleichungen

$$m = n\,.\,\frac{\log P - \log a}{\log P - \log b} \quad . \; . \; . \; . \quad \text{(I)}.$$

Den Luftdruck a und b lernt man aus der Länge der Queckſilberſäule in einem guten Barometer oder aus der Siedhitze des reinen Waſſers kennen, und daher iſt dieſe Höhenmeſſung ſelbſt entweder eine barometriſche oder eine thermometriſche. Denkt man ſich den Barometerſtand an der Baſis = 28 P. Z. = 336 L., und die zweite Station um 0.10467 F. höher; ſo muß in dieſer der Barometerſtand um 0.00001 F. = 0.00144 L. tiefer ſtehen, weil das Queckſilber bei 28 P. Z. Luftdruck und einer Temperatur von 0° C. 10467mal dichter iſt als atmoſph. Luft. Man hat daher P = 336, b = 336 — 0.00144 = 335.99856, n = 0.10467, und weil $\log P - \log b = 0.0000018585$ iſt,

$$m = 56320\,(\log P - \log a)\ .\ \text{(II)}.$$

Heißt in einer anderen Station der auf 0° C. reducirte Barometerſtand a'; ſo erhält man die Höhe m' derſelben durch die Formel

$$m' = 56320\,(\log P - \log a')$$

und aus beiden den Höhenunterſchied beider Stationen:

$$m' - m = 56320\,(\log a - \log a')\ .\ .\ \text{(III)}.$$

Dieſe Formel gilt aber nur für die Temperatur = 0° C. und für ganz

trockene Luft, ja ſie ſetzt ſogar voraus, daß die Schwere auf die obere und untere Luftſchichte gleich ſtark und in beiden ſo wirke, wie in einer Breite von 45°. Alle dieſe Punkte trifft man aber nie in der Wirklichkeit ſo an, wie es hier verlangt wird; daher muß man obige Formel ſo einrichten, daß ſie auf jeden vorkommenden Fall paßt. Der numeriſche Coefficient dieſer Formel ändert ſich mit der Wärme, weil dadurch auch das Verhältniß zwiſchen der Dichte des Queckſilbers und der Luft verändert wird. Man kann füglich annehmen, jener Coefficient ſey der Temperatur proportionirt, und gehe dann für die Temperatur τ in $56320\,(1 + 0.00365\,.\,\tau)$ über. Der Werth von τ iſt die mittlere Temperatur beider Stationen, als welche man gewöhnlich die halbe Summe der Temperaturen beider Stationen annimmt. Iſt demnach die Temperatur der Luft in der unteren Station t, in der oberen t'; ſo hat man:

$$m' - m = 56320\left(1 + 0.00365\,.\,\frac{t + t'}{2}\right)(\log a - \log a').$$

Die Correction für die in der Luft enthaltenen Dünſte bezieht ſich auf zwei Punkte, 1) auf die Aenderung des Luftdruckes durch den Zutritt der Dünſte, 2) auf die Aenderung der Ausdehnungsgröße trockener Luft durch die Wärme, welche durch Beimengung der Dünſte eintritt. Heißt die Spannkraft der Dünſte in der unteren Station e, in der oberen e'; ſo verhält ſich der Druck von Seite der Dünſte zum Druck von Seite der Luft in der unteren Station nahe wie $\frac{10}{16}e : a$, in der oberen wie $\frac{10}{16}e' : a'$, falls die Dünſte wie die Luft nach oben zu an Dichte abnehmen; allein da nach Anderſon die Dünſte viermal ſchneller abnehmen als die Luft, ſo hat man nur die Verhältniſſe nahe wie $\frac{1}{6}e : a$ und $\frac{1}{6}e' : a'$. Daher iſt der Druck der trockenen Luft in der unteren Station $a - \frac{e}{6}$, in der oberen $a' - \frac{e'}{6}$. Das Volum trockener Luft ändert ſich durch Beimengung von Dünſten in der unteren Station in dem Verhältniſſe $1 + \frac{e}{a - e} : 1$, in der oberen wie $1 + \frac{e'}{a' - e'} : 1$. Setzt man nun für e oder e' die mittlere Spannkraft der Dünſte $\frac{e + e'}{2}$, und für a die mittlere Barometerhöhe $\frac{a + a'}{2}$; ſo hat man eine Aenderung des Luftvolums und daher auch des ſpecifiſchen Gewichtes in dem Verhältniſſe $1 + \frac{(e + e')}{a + a' - (e + e')} : 1$.

Werden dieſe Correctionen in obiger Formel angebracht, ſo wird:

$$m' - m = 56320\left(1 + 0.00365\,.\,\frac{t + t'}{2}\right)$$

$$\left(1 + \frac{e + e'}{a + a' - (e + e')}\right)\left[\log\left(a - \frac{e}{6}\right) - \log\left(a' - \frac{e'}{6}\right)\right].$$

Die Correctionen wegen der Abnahme der Schwere nach oben laſſen ſich am einfachſten dadurch anbringen, daß man ein- für allemal den Coefficienten 56320 um 150 Einheiten vergrößert. Die Correction, wodurch die Formel für jede geogr. Breite φ brauchbar wird,

verrichtet man mittelſt des Factors $1 + 0.002837 \cos 2\varphi$. Auf dieſe Weiſe erhält man als allgemeine Formel, welche den Höhenunterſchied zweier Stationen in P. F. angibt:

$$m' - m = 56470 \left(1 + 0.00375 \cdot \frac{t + t'}{2}\right)$$
$$\left(1 + \frac{c + c'}{a + a' - (c + c')}\right) \left[\log\left(a - \frac{c}{6}\right) - \log\left(a' - \frac{c'}{6}\right)\right]$$
$$\left(1 + 0.002837 \cos 2\varphi\right).$$

Für Fälle, wo keine gar große Schärfe verlangt wird, reicht die Formel aus

$$m - m' = 56470 \left(1 + 0.002 \cdot (t + t')\right) \left(\log a - \log a'\right).$$

Soll die Formel die Höhenunterſchiede im Wiener Fußmaß angeben, ſo muß man ſtatt obigen Factors 56470 ſetzen 57992. Wenn die Stationen, deren Höhenunterſchied man ſucht, nicht gar weit von einander entfernt ſind, ſo kann man dieſen Unterſchied nach den gleichzeitigen Barometerhöhen in beiden berechnen; iſt aber ihre Entfernung groß, ſo muß man für a und a' die aus vielen Beobachtungen genommenen mittleren Höhen ſetzen. Im erſten Falle iſt weder die Tageszeit noch der Zuſtand der Atmoſphäre, bei denen man die Beobachtung macht, gleichgültig.

Die Theorie der thermometriſchen Höhenmeſſung beſteht in Folgendem: Bekanntlich haben die aus dem ſiedenden Waſſer aufſteigenden Dünſte eine Spannkraft, welche dem jedesmaligen Luftdrucke gleich iſt, und beide werden demnach durch dieſelbe Queckſilberſäule gemeſſen; ferner herrſcht zwiſchen der Spannkraft a jener Dünſte und der Temperatur t der oberen ſiedenden Schichten eine Relation, die ſich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\log a = \frac{23.945371\, t}{800 + 3t} - 2.2960374,$$

wobei a in Metern angegeben wird. Die Formel (II) in das metriſche Maß überſetzt, erhält die Geſtalt

$$m = 18336 \left(\log P - \log a\right).$$

Subſtituirt man in ſelbe für $\log a$ den obigen Ausdruck, und ſetzt man $P = 0^m.76$, ſo hat man

$$m = 39914.7 - \frac{439062\, t}{800 + 3t}.$$

Die Correctionen wegen der Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und den Aenderungen der Schwere laſſen ſich wie bei der barometriſchen Formel anbringen.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen dient folgende Tafel: B bezeichnet den auf 0° C. reducirten Barometerſtand, H die Höhe, D die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht ſich auf Wiener Maß.

B.	H.	D.	B.	H.	D.
301 L.	84 F.	8.3	321 L.	1704 F.	7.9
302	168	8.3	322	1738	7.7
303	250	8.3	323	1860	7.8
304	333	8.3	324	1938	7.8
305	416	8.3	325	2016	7.7
306	499	8.3	326	2093	7.8
307	581	8.2	327	2171	7.6
308	663	8.2	328	2247	7.7
309	745	8.1	329	2324	7.6
310	826	8.1	330	2400	7.7
311	907	8.1	331	2477	7.6
312	988	8.0	332	2553	7.5
313	1068	8.1	333	2628	7.6
314	1149	8.0	334	2704	7.5
315	1229	8.0	335	2779	7.6
316	1309	7.9	336	2855	7.5
317	1388	8.0	337	2930	7.4
318	1468	7.9	338	3004	7.4
319	1547	7.9	339	3078	7.4
320	1626	7.8	340	3152	7.4

Beim Gebrauche nehme man, aus der Columne H die Zahl, welche den Barometerſtand B in der erſten Station, nach Hinweglaſſung der Bruchtheile einer Linie, bezeichnet, hierauf multiplicire man die weggelaſſenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne D, welche dem Barometerſtande entſpricht, und addire dieſes Product zu erſterer Zahl, thue hierauf daſſelbe für den Barometerſtand der zweiten Station; ſo erhält man durch die Differenz der zwei ſo gefundenen Zahlen die verlangte Höhe = A. Um dieſe für die Luftwärme in beiden Stationen zu corrigiren, multiplicire man den tauſendſten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe dee Temperaturen beider Stationen, und gebe das Product mit ſeinem Zeichen zu A. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botaniſchen Garten in Wien, und am Leopoldsberge bei Wien angeſtellten Beobachtungen ergab ſich die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe in Wien = 339.1 L. und die am Leopoldsberge = 330.5.

Der Zahl 339 entſprechen in der Tabelle	3078
0.1	7
mithin 339.1	3085
Eben ſo entſprechen der Zahl 330 in der Tabelle	2400
0.5	38
mithin 330.5	2438
und daher der Höhenunterſchied 3085 — 2438 =	647

Die Temperatur in Wien war 14.40, die am Kahlenberge 14.42, mithin die doppelte Summe 57.64 und 57.64 × 0.647 = 37.4, und daher die geſuchte Höhe 647 + 37 = 684 F.

Siehe hierüber: Die Hypſometrie mittelſt phyſiſcher Beobachtungen von A. Suppan. Innsbruck 1834. Das Höhenmeſſen mit dem Thermometer von J. W. Gintl. Wien 1835.

138. Das Joch einer Gebirgskette iſt ſelten ſo ſchmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiſeitigen Pris-

ma's anzuzeigen ſcheint. Es gibt wohl, beſonders in Deutſchland, einige Punkte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauſes hat, wie z. B. am Brenner in Tirol, wo das Dachwaſſer eines Hauſes von einer Seite dem adriatiſchen, von der anderen dem ſchwarzen Meere zufließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergiſchen, wo von einem Hauſe ſich das Regenwaſſer zum Theil in den Neckar, und mithin in die Nordſee, zum Theil in die Donau, und dadurch ins ſchwarze Meer ergießt. In den franzöſiſchen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8—12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt dieſe Gegenden *Landhöhen* oder *Landrücken*. Die berühmteſten *Landhöhen* befinden ſich in Amerika, nämlich die von Titicaca und Antiſana (2050—2155 W. Kl. hoch), von Quito und Caxumarca (1530 Kl.), von Bogota (1407 Kl.) und Mexico (1199 Kl.). Aſien hat, ſo weit man es kennt, nur zwiſchen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die ſich den amerikaniſchen zur Seite ſtellen laſſen. Die perſiſche Landhöhe hat nur 667 W. K. Afrika iſt uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abeſſinien iſt wohl unter allen das bekannteſte, und auch nach allen Nachrichten ſo hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am erſten an die Seite geſtellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweiſen, welches ſich mit denen der übrigen Welttheile meſſen könnte. Das ſchwäbiſche Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwiſchen den Alpen und dem Jura 267—277 Kl., und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbſt das Hoſpiz auf dem großen Bernhard, der höchſte bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

139. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieſelbe *Richtung*, ſondern es wendet und biegt ſich nach verſchiedenen Gegenden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Geſtalt eines Landes ab, das ſich über das Meer erhebt. In Amerika lauft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord, und das Land hat auch in dieſer Richtung die größte Ausdehnung. In Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Weſtküſte, und ein anderes an der Oſtküſte von Nordoſt nach Südweſt, und davon hängt die dreieckige Geſtalt des Landes ab; dasſelbe findet in Südamerika Statt, wo nebſt dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordoſt nach Südweſt hinzieht. In Aſien ziehen die größten Gebirge von Oſt nach Weſt durch das Land, und dieſer Welttheil iſt auch in dieſer Richtung am ausgedehnteſten; Indien erhält ſeine dreieckige Geſtalt wie Nord- und Südamerika durch beſondere Bergketten; Afrika erhält ſeine Geſtalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa erſtrecken ſich die größten Gebirge von Nordoſt nach Südweſt, und in dieſer Richtung iſt dieſer Welttheil auch am ausgedehnteſten. — Die *Höhe* des Joches iſt in derſelben Gebirgskette verſchieden. Iſt die Kette ſelbſtſtändig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, ſo liegt ihre größte Höhe

in der Mitte; iſt ſie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsſtammes, ſo hat ſie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächſten iſt, und verflächt ſich immer mehr.

140. Beträchtliche und ſchnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden Päſſe, welche als Vereinigungspunkte zweier getrennten Länder angeſehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende abſolute Höhe haben. Auf dieſe Weiſe verbinden die Päſſe über den Brenner und St. Gotthard das weſtliche Deutſchland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m. Oft werden Gebirgszüge von Flüſſen durchbrochen, wie dieſes z. B. die Elbe bei Königſtein, der Rhein zwiſchen Mainz und Köln thut. Daher folgt auch die Waſſerſcheide nicht den Gebirgszügen.

141. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette beſteht aus einer großen Anzahl beſonderer Abfälle, die man erſteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen dieſen zuſammengeſetzte Neigung der Seitenflächen wechſelt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von 2° — 6°, der ſüdliche Abfall der Alpen von den höchſten Punkten an beträgt nur $3^3/_4{}^\circ$. Allein es ſcheint eine allgemeine Regel zu ſeyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich ſind, und daß immer einer kürzer und ſteiler als der andere iſt. Die Pyrenäen, Alpen und Karpathen haben den ſtärkſten Abfall gegen Süden, das Erzgebirge, die Sevennen, Vogeſen und der Jura gegen Oſten, die Anden in Amerika ſind gegen Weſten am ſteilſten. Man kann es als Regel anſehen, daß die Gebirge immer dort den ſteilſten Abhang haben, wo ſie ein Becken einſchließen, es mag dieſes nun feſtes Land ſeyn, oder Waſſer enthalten. So ſind alle Gebirge, welche Böhmen umgeben, gegen dieſes Land hin am ſteilſten, der Schwarzwald und die Vogeſen ſind gegen das Rheinthal am ſteilſten; die Berge, welche den Genferſee einſchließen, kehren dieſem den kürzeſten Abhang zu, ja ſelbſt bei kleineren Becken findet dieſes Statt. So iſt der Traunſtein an der Seite des Traunſees, der Watzmann an der Seite des Königsſees am ſchroffſten.

142. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen ſenkrecht auf ihrer Länge tiefe Einſchnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterſchieden werden müſſen, und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabſteigende Rinnen formiren. Dieſe Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von denen alles das gilt, was von der Hauptkette geſagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, ſondern hält ſich oft lange in einer bedeutenden Höhe, und ſenkt ſich dann plötzlich; ſie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erſtrecken ſie ſich bis zum Meere und endigen ſich da ſchnell, ſo nennt man ſie ein Cap oder Vorgebirge.

143. Den Gebirgsgegenden ſtehen die ſogenannten Wüſten ſowohl in Hinſicht ihrer phyſiſchen Beſchaffenheit, als auch durch die Rolle, welche ſie in der Geſchichte der Erde ſpielen, gerade gegenüber.

Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, ſo ermüden es dieſe durch eine eben ſo große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsſtätte der Quellen und Flüſſe ſind, die gewürzreichſten und kräftigſten Pflanzen nähren, unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen, und von ihren höheren Punkten das herrlichſte Panorama darſtellen; ſo ſind dieſe waſſerarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meiſtens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt, und gewähren dem Wanderer das ſchauerliche Bild einer todten Welt. — Wiewohl die Wüſten in der Regel allenthalben, wo ſie vorkommen, denſelben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünſtigen Ebene behalten; ſo werden ſie doch im Einzelnen durch die Beſchaffenheit des Bodens, durch das Klima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher beſtimmt. — Die Wüſten von Aſien und Afrika ſind eigentliche Sandmeere, und beſtehen aus unermeßlichen Strecken die mit Flugſand oder mit großen Kieſelſtücken überſäet ſind; ſie laſſen ſich vom Cap Bojador an bis jenſeits des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen verfolgen. Die größte iſt die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwiſchen dem 15. und 31.° nördl. Br. durchſetzt, und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr ſpricht ſich der Charakter einer Sandwüſte am ſchrecklichſten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet ſich daſelbſt, und nur ſelten ſtoßt man auf künſtliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand geſteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, die häufig wieder verſchüttet oder von Inſectenſchwärmen erfüllt ſind. Die Luft iſt wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinſten Sande überladen, von keinem Regen erfriſcht und von keinem Vogel beſucht. Nur wenige Orte dieſes grauenvollen Meeres ragen, wie Inſeln, mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; ſie werden Oaſen genannt. Eine andere große Wüſte Afrika's iſt die Lybiſche, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenſeits der Landenge von Suez fängt die Wüſte Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat iſt die öſtliche Grenze der arabiſchen und ſyriſchen Wüſte. Perſien wird vom caſpiſchen Meere an bis zum indiſchen von ungeheuren Sandmeeren durchſchnitten, unter denen die an Salz reichen Wüſten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptſächlichſten ſind. Nach Humboldt beträgt der Erdſtrich, den dieſe Sandwüſten einnehmen, die Oaſen abgerechnet, gegen 112,000 geogr. Quadratmeilen.

144. Die Urſachen der Abweſenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüſten iſt der Mangel an Waſſer, der durch das Klima und die Lage hervorgebracht iſt, und die Armuth an Vegetation ſelbſt wieder bedingt. Dieſes zeigen die Oaſen dieſer Wüſten, und der Umſtand, daß ſelbſt dort, wo das Klima kälter iſt, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beſchaffenheit des Bodens alles Waſſer

abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüſte darſtellt, wie dieſes bei der aſiatiſchen Wüſte Cobi zum Theile der Fall iſt. Dieſe bedeckt nämlich einen großen Theil der großen Gebirgsebene Aſiens, und hat am weſtlichen Theil in einer nördlichen Breite von 35—45° große Strecken, die mit Flugſand bedeckt ſind. Der Einfluß des Waſſers zeigt ſich vorzüglich an den ſogenannten Llanos in Amerika, an der Wüſte Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Klima gewiß Sandwüſten wären, nun aber in die Reihe der ſogenannten Steppen gerechnet werden dürfen. Die Karao hat ungefähr 1000 geogr. Quadratmeilen, liegt zwiſchen hohen Bergen, und iſt ſelbſt von nicht unbedeutenden Thonſchiefergebirgen durchzogen, ſtellt aber doch auch Ebenen von 30—40 Quadratmeilen dar. Ihr Boden beſteht auch aus Thon und Sand. Dieſer wird während des Sommers ſo ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz ausgedörrt iſt und die Vegetation verliert, während er an anderen, waſſerreichen mit dem ſchönſten Pflanzenſchmucke prangt. Sobald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, ſo erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauſpiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdſtriche, beſitzen aber ein mehr feuchtes Klima, und erſcheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer anderen Geſtalt. Wenn im Sommer unter dem ſenkrechten Strahle der Sonne die Pflanzendecke abgebrannt und der Boden ausgetrocknet iſt, und ſelbſt der ſonſt kühlende Oſtwind neue Hitze bringt; ſo wetteifern ſie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; ſobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht ſich der ganze Boden mit den mannigfaltigſten Gräſern.

145. Die Steppen gleichen durch ihren Mangel an abwechſelnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüſten, unterſcheiden ſich aber von ihnen dadurch, daß ſie den Sommer hindurch mit Pflanzen beſetzt ſind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigſtens den Schein einer Wüſte tilgen. Solcher Steppen gibt es beſonders in Aſien viele. Sie erſtrecken ſich von der chineſiſchen Mauer bis zum Aralſee, faſt ununterbrochen 1000 geogr. Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Aſtrachan liegenden und diejenigen, welche ſich zwiſchen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur ſogenannten beſſarabiſchen Wüſte hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet ſich in Amerika. Sie zieht von der Küſtengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana, und beträgt nach Humboldt 14000 Quadratmeilen.

146. Es haben ſich mehrere ausgezeichnete Gelehrte bemüht, alle Höhenzüge der Erde als Verzweigungen eines gemeinſchaftlichen Hauptſtammes darzuſtellen. Sie nehmen z. B. den Hauptgebirgsſtamm in Aſien an, laſſen ihn durch die Mitte dieſes Welttheils hinziehen, Aeſte nach Sibirien und Indien abſenden, mit dem Stamme aber nach Europa fortlaufen und einen Zweig nach Afrika ſenden, der

dieſen Welttheil durchſetzt, ununterbrochen durch das Meer fortlauft, den Antilliſchen Archipelagus und den Continent von Mexico bildet, und nach Nord- und Südamerika Zweige auslaufen läßt. Allein ein ſolcher Zuſammenhang läßt ſich durchaus nicht factiſch nachweiſen, ja es ſprechen vielmehr beſtimmte Erfahrungen entſchieden dagegen, und zeigen vielmehr, daß man in jedem Welttheile mehrere Gebirgsſyſteme annehmen müſſe, die nicht bloß von einander durch Ebenen und Thäler getrennt ſind, ſondern auch in ihrer äußeren Form und inneren Structur von einander abweichen.

147. Aſien hat mehrere merkwürdige Bergſyſteme: Das Bergſyſtem des Ural oder das Pojaſſowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucaſus, des Taurus und Antitaurus, des Altai, Tiankhan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caſpiſchen Meere unter 45° nördl. Br. an, und geht von Südoſt nach Nordweſt bis ins Eismeer fort; die caucaſiſchen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwiſchen dem caſpiſchen und ſchwarzen Meere fort, und erreichen mit dem Berge Caucaſus die größte Höhe, nämlich 2839 W. Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieſer Kette, beläuft ſich auf 1387 Kl. Das Syſtem des Altai im weiteren Sinne erſtreckt ſich von Oſt nach Weſt zwiſchen den Parallelen von 50—59° nördl. Br., 160 Meilen tief in die Kirgiſenſteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergſyſtem Thiankhan, von Pallas Bokhdo genannt, iſt vom Altai gegen Oſten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, Khingkhan-Oola, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) ſeine größte Höhe, zieht öſtlich nach Barkoul, verflächt ſich da in die große Wüſte Cobi, und erſtreckt ſich nördlich von Kaſchgar gegen Samarkand. Das Bergſyſtem des Kuenlun oder Kulkun beginnt im Weſten mit dem blauen oder Zwiebelgebige (Thſungling), und zieht ſich gegen Oſten nach den Quellen des Hoangho hin. Das Syſtem des Himalaya trennt Kaſchmir, Nepal und Butan von Thibet, und ſteigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größtentheils von NW. gegen SO., und iſt mit dem Kuenlun durch Nebenketten verbunden.

148. Die Gebirgsſyſteme Afrika's ſind nur wenig bekannt. Unter 10° nördl. Br. läuft ein Gebirge, die Mondberge genannt, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der Nordweſtküſte der Atlas mit ſeinen Ausläufern. Eben ſo wenig kennen wir die Gebirgsſyſteme Auſtraliens.

149. Die europäiſchen Gebirgsſyſteme ſind aus einleuchtenden Gründen am beſten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's ſind die Alpen (weißen Berge). Sie ſind von allen Seiten ſcharf begrenzt, dehnen ſich von 23°—35° der Länge und von 44°—48° nördl. Br. aus, und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft ſich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Päſſe auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsſtock iſt der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Ein

anderes und zwar dem Range nach das zweite Gebirgsſyſtem bilden die Pyrenäen, die Frankreich von Spanien ſcheiden, und im Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Poſets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen. Merkwürdig iſt an dieſem Gebirge, daß die niederen Nebenketten mit der Hauptkette völlig parallel laufen, aber auf der Hauptrichtung der Alpen ſenkrecht ſtehen. Das dritte europäiſche Hauptgebirge ſind die ſcandinaviſchen oder die Kiölen zwiſchen Norwegen und Schweden. Sie laufen nur mit wenigen Krümmungen von Süd nach Nord bis an die Spitze des Nordcaps, und erreichen im Sule Tind eine Höhe von 920 Kl. Die Karpathen zwiſchen Ungarn und Galizien ziehen von Nordweſt nach Südoſt, und haben im großen Krywan (1300 Kl.), der Käsmarker- (1630 Kl.) und Lomnitzerſpitze (1700 Kl.) die höchſte Elevation. Die Apenninen, Cevenen, Vogeſen, das Juragebirge, die Sudeten, das Fichtel- und Erzgebirge ꝛc. ſind Gebirge von minderer Bedeutung.

150. Amerika hat bedeutende Gebirgsſyſteme. Das vorzüglichſte, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen ſind, ſind die Cordilleras de los Andes (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 2500 Meilen und einer Breite von 18—20 Meilen durchziehen. Sie bilden die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpunkten, theilen ſich in Südamerika in parallel laufende Aeſte, und erreichen daſelbſt mit dem Chimboraſſo die größte Höhe (3445 Kl.). In Nordamerika theilen ſie ſich in viele Aeſte, wovon ſich der längſte bis zum Cap Wallis erſtreckt, und ſich an die von Aſien überſetzenden Gebirgszüge anſchließt.

151. Alles Bisherige bezieht ſich bloß auf das Aeußere des feſten Landes; es bietet aber auch das Innere der Erde große Merkwürdigkeiten dar, indem wir daſelbſt Maſſen erblicken, die an chemiſcher Beſchaffenheit, Lagerung und Verbreitung ꝛc. von einander abweichen, in ihrem Schooße die edelſten Metalle und die herrlichſten Edelſteine enthalten. Aus ihnen kommt die erquickende Quelle und die verderbliche Lava, und ihre Natur und Anordnung iſt der treueſte Zeuge der großen Veränderungen, welche die Erde erlitten hat. Unſere Kenntniſſe erſtrecken ſich zwar nur auf einen ſehr geringen Theil der Erdrinde, und vom Innern der Erde haben wir gar keine Erfahrungskenntniß, aber das, was wir von der Erdrinde kennen, beweiſet hinlänglich, daß die mannigfaltigen Materialien, aus denen ſie beſteht, nach beſtimmten Geſetzen auf einander folgen, und nicht ordnungslos unter einander gemengt ſind. Man kann füglich alle Gebirgsarten, welche die Erdrinde bilden, in zwei Claſſen bringen, in jene, welche organiſche Ueberreſte enthalten, und in ſolche, wo keine derlei Ueberreſte vorkommen. Jene ſind faſt immer geſchichtet, und Mangel an Schichtung gehört zu den Ausnahmen, dieſe hingegen ſind in der Regel ungeſchichtet und nur als Ausnahmen kommen Schichtungen vor; jene ſind ohne Zweifel Abſätze (theils mechaniſche, theils

chemiſche) aus Waſſer, oder wie die Geognoſten ſagen, ſie ſind neptuniſchen Urſprungs, dieſe hingegen kann man mit eben ſoviel Grund als Producte der Erſtarrung erhitzter Maſſen, als plutoniſche Producte, anſehen.

152. Die Gebirgsarten, welche keine organiſchen Ueberreſte enthalten, laſſen ſich füglich in primitive (Urgebirge) und in vulkaniſche Gebirge eintheilen. Die Urgebirge bilden in der Regel die Baſis der übrigen Gebirgsarten und nehmen den unterſten Platz ein, doch kommen ſie manchmal auch zwiſchen jüngeren Gebirgsarten eingekeilt vor, ragen oft über alle anderen hervor, und bilden die höchſten Punkte der Erdoberfläche. Sie haben ein kryſtalliniſches Gefüge und nur wenige erſcheinen in Schichten. Ihr chemiſcher Hauptbeſtandtheil iſt die Kieſelerde, dann folgt die Thonerde, Kali, Bittererde und Soda; Kalk und Flußſäure kommen zerſtreut, Eiſenoxyd und Mangan häufig vor. Das meiſte in dieſer Gebirgsart vorkommende Geſtein iſt aus mehreren Mineralkörpern zuſammengeſetzt, und erſcheint als Granit, Gneis, Glimmerſchiefer, Talkſchiefer, Hornblendefels ꝛc. Man kann bei dieſen Gebirgen keine beſtimmte Ordnung angeben, in der ſie nach einwärts auf einander folgen; doch walten in den unteren Lagen Granit, Gneis und Glimmerſchiefer vor.

153. Die vulcaniſchen Gebirge ſind Trachyt-, Baſalt-Gebirge und Erzeugniſſe der jetzt noch thätigen Vulkane (Lava). Die Trachytgebirge beſtehen hauptſächlich aus Trachyt, einem farbigen Feldſpathe, enthalten aber auch Perlſtein, Obſidian, Klingſtein ꝛc., und bilden meiſtens coniſche Berge, wie z. B. die Euganäiſchen Hügel bei Padua, den Mont d'Or, Puy de Dom, das Siebengebirge in Rheinpreußen, viele Berge in Ungarn, vorzüglich aber in der Andenkette. Buch ſieht den Trachyt als einen durch heiße Dämpfe veränderten Granit an. Die Baſaltgebirge haben ihren Namen vom Baſalte, einem Gemenge aus Augitkörnern, Feldſpath und Eiſenoxydul, aus dem ſie beſtehen. Sie haben die Geſtalt abgeſtumpfter Kegel, wie Glocken, ſtehen zuweilen einzeln, zuweilen in Gruppen geordnet, wie dieſes auf den canariſchen Inſeln, in Auvergne, in Böhmen der Fall iſt, ſind meiſtens kahl und nur kleine Geſträuche vegetiren ſparſam auf ihrem Rücken. Weil der Baſalt eine große Neigung hat, in ſechsſeitigen Säulen zu zerklüften, ſo bilden ſich häufig in Baſaltgebirgen mächtige Spalten und einzeln ſtehende Baſaltmaſſen. Der Rieſendamm in Irland beſteht aus Baſalt, und bildet eine 70 Meilen fortlaufende Straße, die Rieſenſtraße. Dieſes Geſtein kommt häufig zwiſchen anderen Gebirgsmaſſen eingekeilt vor, und da bemerkt man oft in dem benachbarten Geſteine Veränderungen, wie ſie nur durch eine hohe Temperatur hervorgebracht werden konnten. So z. B. wird der Kalkſtein kryſtalliniſch und härter, der Granit glaſig ꝛc. Die Lavagebirge beſtehen im Allgemeinen aus Lava, einer Maſſe, die dem Trachyte und Baſalte ſehr ähnlich iſt, und ganz das Bild einer im Fortfließen erhärteten Maſſe gewährt, auch gewiß im geſchmolzenen Zuſtande aus dem Inneren der Erde hervorgetrieben wurde, weil

man noch heut zu Tage oft Zeuge ſolcher Auswürfe der Vulcane iſt. Die betreffenden Berge haben Kegelform, oben eine trichterförmige Oeffnung (Krater) und heißen Vulcane.

Nach v. Buch theilen ſich alle Vulcane der Erdoberfläche in Central- und Reihenvulcane. Erſtere bilden den Mittelpunkt einer großen Menge nach allen Seiten beinahe gleichmäßig wirkender Ausbrüche, letztere liegen in einer Reihe hinter einander in geringen Entfernungen. Einige erheben ſich wie Kegel aus dem Grunde des Meeres, und bilden gleichſam den Fuß eines primitiven Gebirges, das in derſelben Richtung ihnen zur Seite ausläuft, oft ſtehen ſie auf dem höchſten Rücken dieſer Gebirge, und bilden den Gipfel derſelben. Zu den Centralvulcanen rechnet v. Buch die lipariſchen Inſeln, den Aetna, die phlegräiſchen Felder und den Veſuv, Island, die azoriſchen, canariſchen, Cap verde'ſchen Inſeln, die Gallopagos, die Sandwichsinſeln, die Marqueſas, die Societätsinſeln, die freundſchaftlichen Inſeln und Bourbon. Als Reihenvulcane betrachtet er: Die griechiſchen Inſeln, die weſtauſtraliſche Reihe, die Inſeln von Sunda, die Reihe der Molucken und Philippinen, der japaniſchen und curiliſchen Inſeln, und von Kamtſchatka, die Reihe der aleutiſchen Inſeln, der Marianen, die von Chili, Quito, den Antillen, Guatimala, von Mexico. Als zweifelhafte Centralvulcane führt er an: Den Demavend, den Ararat, den Seiban-Dagh, die tartariſchen Berge öſtlich von China. (Buch in Pogg. Ann. 10. 1.)

154. Die Gebirgsarten, welche organiſche Ueberreſte führen, folgen in einer beſtimmten Ordnung auf einander. Damit iſt aber nicht behauptet, daß alle Mineralmaſſen, welche man in einer Gegend in einer beſtimmten Aufeinanderfolge beobachtet hat, in jeder anderen eben ſo angetroffen werden, und dasſelbe Geſtein nur in einem Gliede dieſer Aufeinanderfolge vorhanden ſey; es fehlen oft einzelne Glieder in einer Gegend oder werden durch andere erſetzt, und dasſelbe Geſtein wiederholt ſich in den über einander befindlichen Schichten öfter, allein ein Geſtein a mit beſtimmten organiſchen Reſten, das ſich in einer Gegend unter einem Geſteine b befindet, kommt nirgends über a vor, und wenn a ſich öfter wiederholt, ſo enthält es doch in jeder Folge andere organiſche Ueberreſte. Die geſchichteten, organiſche Ueberreſte führenden Gebirge, werden von den Geognoſten in mehrere Unterabtheilungen gebracht. Die Anhänger der Werner'ſchen Schule, zu welcher die Deutſchen faſt ausſchließlich gehören, theilen ſie in aufgeſchwemmtes Land, in Flötz- und Uebergangsgebirge, und die neueren derſelben unterſcheiden ſelbſt unter den Flötzgebirgen die jüngeren von den älteren, und nennen jene Gebirge der tertiären, dieſe Gebirge der ſecundären Formation, ja gegenwärtig ſind einige ſogar geneigt, die jüngſten Flötzgebirge von den ſpäteren zu unterſcheiden, und eine quaternäre Formation anzunehmen. Die Mehrzahl der engliſchen Gelehrten in dieſem Fache, die ſich überhaupt durch ihre raſtloſen Bemühungen und den glücklichen Erfolg derſelben ein wohl begründetes Recht erworben haben, gehört zu werden, theilen die organiſche Ueberreſte enthaltenden Gebirge in obere (superior rocks), übermittlere (supermedial), mitt-

lere (medial) und untermittlere (submedial). Die letzteren entſprechen den Uebergangsgebirgen der Deutſchen größtentheils, die oberen enthalten das aufgeſchwemmte Land und die Gebirge der tertiären Formation, und die übrigen laſſen ſich in die anderen Formationen einreihen. — Die aufgeſchwemmten Gebirge bilden da, wo ſie vorkommen, die oberſte Lage der Erdrinde, ſteigen nicht hoch auf, beſtehen aus lauter Gerölle nnd Materien ohne feſte Conſiſtenz mit verſteinerten Knochen, Conchylien und Dammerde. Die tertiären Formationen liegen zunächſt unter den vorher betrachteten, beſtehen aus Sand, Thon und Mergel, Gips, weißgrauem Kalke von verſchiedener Conſiſtenz (Grobkalk), Mühlſtein, Nagelflue, mit Reſten von See- und Landthieren, Süßwaſſerproducten und Conchylien. Die ſecundären Formationen ſind einfacher in ihren Beſtandtheilen, beſtehen größtentheils aus Kalk und feinkörnigem Sandſtein (Jurakalk, Alpenkalk, Zechſtein), Kreide, Steinkohlen, und enthalten zahlreiche Ueberreſte von Pflanzen und Thieren. Das Uebergangsgebirge nimmt unter den Gebirgen mit organiſchen Reſten, da wo es mit denſelben vorkommt, den unterſten Platz ein, beſteht aus Grauwacke (grauem, feinkörnigem, feſtem Sandſteine), ſandigem Kalkſteine ꝛc., mit Abdrücken und Reſten von Thieren und Pflanzen niederer Organiſation, z. B. Palmen, Ammoniten, Madreporen ꝛc.

155. Die organiſchen Ueberreſte, welche in den Uebergangsgebirgen vorkommen, beziehen ſich nur auf Holz, Schilf, Korallen, Schnecken ꝛc., überhaupt auf Thiere und Pflanzen von der niedrigſten Organiſationsſtufe, es ſind aber oft von dieſen, beſonders von Fiſchen nur Abdrücke in Thonſchiefer vorhanden. In viel größerer Menge finden ſie ſich in den ſecundären und tertiären Formationen. Da kommen zuerſt in ausgebreiteten Lagern die Steinkohlen vor, für deren organiſchen Urſprung unzählige Gründe ſprechen. Denn ſie haben dieſelben chemiſchen Beſtandtheile wie die Pflanzen, wir ſehen noch heut zu Tage vor unſern Augen Holz in der Erde in einen Körper (Pechkohle) übergehen, welcher große Aehnlichkeit mit der Steinkohle hat, man findet Schilfe im Schieferthon und im Sandſtein in Steinkohlenmaſſe verwandelt. Dieſe Gründe zeugen nicht bloß für den organiſchen Urſprung der Steinkohlen überhaupt, ſondern machen es höchſt wahrſcheinlich, daß ſie verwandelte Pflanzen ſind. Für Letzteres ſpricht auch noch der Umſtand, daß in Steinkohlengebirgen die Spuren von Gewächſen deſto zahlreicher werden, je näher man den Steinkohlen kommt, und daß ſie in den Steinkohlen ſelbſt aufhören, welches nur begreiflich wird, wenn man eine Verwandlung derſelben in Steinkohlenmaſſe annimmt. Allein da bleibt noch immer die Frage zu beantworten, was das für Pflanzen ſind, die in Steinkohlenmaſſe umgewandelt wurden, ob ſie auf dem Platze gewachſen, an dem ſie jetzt vorkommen, oder ob ſie durch gewaltſame Transporte dahin gebracht worden, endlich, wodurch ſie dieſe Aenderung erlitten. Das Vorkommen der Steinkohlenmaſſe in engen Klüften, wie ſie Wer-

ner und Charpentier in der Lauſitz wahrgenommen haben, das Daſeyn von Steinkohlenadern im Geſteine der Steinkohlengebirge und der Umſtand, daß das den Steinkohlen nächſte Geſtein mit ihrer Maſſe geſchwängert iſt, läßt ſich kaum anders erklären, als daß man annimmt, die Materie der Steinkohlen ſey einmal flüſſig geweſen, und die Pflanzen ſeyen an demſelben Platze geſtanden, wo ſie die Verwandlung in Kohle erlitten haben. Es iſt übrigens ſehr wahrſcheinlich, daß dieſe Pflanzen Schilfe waren, weil gerade dieſe Pflanzen in wahre Steinkohlen verwandelt vorkommen, wie man aus ihren Abdrücken erſieht, die ſich im Schieferthon und Sandſteine befinden. — Außer Steinkohlen befinden ſich in dieſen Gebirgen noch andere unzweideutige Ueberreſte organiſcher Körper. Im ſogenannten Muſchelkalkſteine trifft man eine unzählige Menge von Schalthieren in einer ſolchen Ordnung beiſammen, wie ſie ſich noch jetzt im Meeresgrunde befinden. In vielen Gebirgslagern finden ſich Knochen von Thieren, deren Originalien nicht mehr exiſtiren, und von anderen, die jetzt in anderen Welttheilen leben. Merkwürdig ſind überdieß noch die in Sandſteingebirgen vorkommenden Braunkohlen, welche aus vergrabenen Bäumen entſtanden ſeyn müſſen, weil neben ihnen noch halb verkohlte Baumſtämme liegen, und an vielen Kohlen noch die holzige Textur auffallend bemerkt werden kann. Das aufgeſchwemmte Land enthält Reſte aus dem Pflanzen- und Thierreiche. Es finden ſich darin ganz verſchüttete Wälder mit Bäumen, die zum Theile noch auf den Wurzeln ſtehen, Zweige und Blätter haben, und zu Bauholz verbraucht werden können, während andere ſchon zum Theile in Braunkohle verwandelt oder ganz verſteinert ſind. Auch der Torf befindet ſich in dieſer Gebirgsformation, der eine aus Pflanzentheilen, aus Wurzeln, Stängelchen, Blättern zuſammengeſetzte; in einen ſchwärzlichen und brennbaren Stoff verwandelte Subſtanz vorſtellt, der aber auch oft Gegenſtände des Kunſtfleißes, z. B. Münzen, Aexte, ganze Fahrzeuge enthält, zum Beweiſe ſeines geringen Alters. Von thieriſchen Ueberbleibſeln befinden ſich im aufgeſchwemmten Lande beſonders Knochen von Elephanten, Pferden ꝛc. Man kann aber auch hier die Ueberreſte der Thiere, die noch jetzt in dem Klima wohnen, wo ſie gefunden werden, von denen unterſcheiden, die einem anderen Klima eigen ſind, und daher auch unter anderen klimatiſchen Verhältniſſen an den Orten gelebt haben müſſen, wo ſie durch ihre Reſte ihr Andenken zurückließen. Zu den letzteren gehören die Knochen von Elephanten, Rhinoceroſſen, Hiänen, die man bei Canſtadt im Würtembergiſchen in der Nähe eines umgeſtürzten Palmenwaldes fand, und das Elephantenſkelet, welches in Thüringen aus einer Tiefe von fünfzig Fuß ausgegraben wurde. Wiewohl ſolche Knochen faſt in jedem aufgeſchwemmten Lande von etwas größerer Ausdehnung vorkommen, ſo ſcheint doch hierin das aſiatiſche Rußland allen Ländern den Rang ſtreitig zu machen. Denn es gibt daſelbſt nach Pallas keinen Fluß, in deſſen Bette oder an deſſen Ufern nicht Knochen von Elephanten und anderen dieſer Gegend jetzt fremden Thieren gefunden werden. Wiewohl dieſe Knochen mei-

ſtens einzeln, zerbrochen und abgerundet vorkommen, ſo trifft man doch nicht ſelten auch ganze Cadaver ſogar mit ihren Haaren an, und zwar, was beſonders zu bemerken iſt, mitten unter Seemuſcheln und anderen, dem Meeresboden eigenen Körpern. (*Blumenbach specimen archaeologiae telluris etc. Goettingae* 1803. *Essai sur la Géographie minéralogique des environs de Paris, par G. Cuvier et A. Brongniart. Paris* 1811.)

156. Im Innern der Gebirgsmaſſen findet man oft einzelne Lagerſtätten, bei denen man leicht erkennt, daß ſie ſpäteren Urſprunges ſind, als das Gebirge, welches ſie enthält. Dieſes ſind die Gänge und Modificationen derſelben. Man nennt überhaupt Gänge ſolche plattenförmige Mineralmaſſen, welche ein Gebirge durchſchneiden und von einem Stoffe gebildet ſind, der von dem des Gebirges verſchieden iſt. Sie laufen bald wagrecht (ſöhlig), bald lothrecht (ſeiger), bald ſchief (ſchwebend), unter verſchiedenen Richtungen (Streichen) gegen die Weltgegenden und mit verſchiedener Mächtigkeit, jedoch ſo, daß ſie meiſtens nach unten zu an Mächtigkeit abnehmen, und daher keilförmig zuſammenlaufen. Die Stoffe, welche ſie ausfüllen, ſind von verſchiedener Natur; unter anderen kommen auch häufig Metalle vor. Dieſe füllen aber ſelten einen Gang völlig aus, ſondern befinden ſich meiſtens nur in der Mitte desſelben, und ſind da in ein fremdartiges Geſtein, die ſogenannte Gangmutter, eingeſchloſſen, erſtrecken ſich nicht durch die ganze Länge des Ganges, ſondern liegen nur in Abſätzen, die oft ſo kurz ſind, daß ſie wie ein Neſt ausſehen. Selten kommt in einem Gange ein Metall allein vor, ſondern er enthält deren meiſtens zugleich mehrere in einer gewiſſen Ordnung, auch finden ſich nicht alle Metalle in Gängen, wie z. B. Platin, das bis jetzt nur in Abſätzen des aufgeſchwemmten Landes vorkam. Nicht alle Gebirgsarten führen Gänge, einige haben ſie zwar, ſie ſind aber nicht metallführend, an einigen kommen ganz leere (offene) Gänge vor. Der Granit iſt unter den Urgebirgen am wenigſten erzführend; Gänge in ihnen enthalten nur Eiſen, Zinn, Gold und Spießglanz. Die reichſten Gänge und mit den mannigfaltigſten Metallen gefüllt kommen im Gneis, Glimmerſchiefer und Thonſchiefer vor; beſonders führt erſtere Gebirgsart faſt alle Metalle mit Ausnahme des Queckſilbers. Der durch die Güte und Menge des Eiſens berühmte Bergbau zu Danemora in Schweden wird in Gneis, der Bau aus Kupfer zu Fahlun in Schweden wird in Glimmerſchiefer betrieben, und das weltberühmte Silberbergwerk zu Potoſi in Peru liefert ſein reichhaltiges Product aus Gängen in Thonſchiefer. Der Hauptgang daſelbſt ſoll 120 Fuß mächtig ſeyn, und früher in 10 Jahren 6 Mill. Mark Silber geliefert haben. — Ueber den Urſprung der Gänge herrſchen verſchiedene Meinungen. Nach Werner ſind Gänge von oben herein durch naſſen Niederſchlag ausgefüllte Gebirgsſpalten, und waren anfangs offene Klüfte, wie ſie noch heut zu Tage in trockenen Jahren, noch mehr aber bei Erdbeben entſtehen, wurden aber ſpäter von oben erfüllt durch Niederſchläge, denen ähnlich, welche ſich in Flötzen und

Lagern befinden, nur müßten ſie etwas ruhiger als dieſe vor ſich gegangen ſeyn, weil die Gänge ſo viele Kryſtalle enthalten. Nach der Anſicht Anderer entſtanden die Gänge durch eine unterirdiſche Gewalt, und wurden auch durch von unten aufgetriebene Maſſen erfüllt. Nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe über das Entſtehen der Gebirge, von welchem in der Folge die Rede ſeyn wird, muß man die letztere Anſicht der erſteren vorziehen, um ſo mehr, als die Urgebirge, welche doch ſo reich an Gängen ſind, ſelbſt als plutoniſche Producte angeſehen werden müſſen, und viele Gänge durch von unten wirkende Kräfte verſchoben (verworfen) erſcheinen. (Werner's neue Theorie der Entſtehung der Gänge. Freyberg 1791. Charpentier's Beobachtungen über die Lagerſtätte der Erze. Leipzig 1799.)

157. Zu den Merkwürdigkeiten des Inneren der Erde gehören auch die daſelbſt befindlichen Höhlen. Viele derſelben vermuthet man nur aus Pendelbeobachtungen, von einer großen Anzahl hat man ſich durch Augenſchein überzeugt. So fand Condamine unweit Quito eine Stelle, wo die Pendelſchwingungen eine Höhlung in der Erde verriethen von wenigſtens 1¹/₄ K. Meile, die wahrſcheinlich mit dem Krater des nahen Vulcans Pichinka zuſammenhängt. Eine ungemein große und ausgedehnte Höhle befindet ſich zu Friedrichshall in Norwegen. Die Höhle Dolſtien in Hervoe in Norwegen reicht tief unter den Meeresboden; denn die Beobachter, welche ſie beſuchten, hörten das Meer über ſich brauſen, und ſahen doch noch einen ungeheuren Abgrund vor ſich. — Die Höhlen ſind vorzüglich im Kalkſtein häufig; aber unter den verſchiedenen Kalkſteinformationen enthält ſie der Urkalk ſelten, indeß kommen doch mehrere in der Schweiz, und das ſogenannte Kitzelloch in Schleſien in dieſem Geſteine vor. Am häufigſten und in der größten Ausdehnung befinden ſie ſich aber im tertiären Kalkſteine. Zur Claſſe dieſer Höhlen gehören: die berühmte Adelsberger Grotte in Krain, die Mixnitzerhöhle in Steiermark, die Baumannhöhle, die Höhle bei Muggendorf im Bayreut'ſchen, vorzüglich die Roſenmüller- und Gailenreutherhöhle, die Paolshöhle in Derbyſhire, die Veteraniſche Höhle im Banat, die Obyhöhle in Sommerſetſhire, die Höhle von Antiparos, die Grotte della Verquilla in Murcia, die Jungferngrotte unweit des Ganges. Indeſſen gibt es auch einzelne Höhlen in Kieſel, wie z. B. die im Canton Bern, und in Baſalten, unter welchen ſich die Fingalshöhle auf der Inſel Staffa mit ihren Baſaltſäulen auszeichnet. Viele Höhlen enthalten Waſſer, wie z. B. die Cueva di Guacharo, die Höhle unweit Ingleton in Yorkſhire, die bei Urach in Schwaben; aus einigen ſtrömt ſelbſt mitten im Sommer ein eiskalter Luftſtrom, der wahrſcheinlich durch Verdünſtung des Waſſers oder durch Eismaſſen ſo ſehr abgekühlt wird. Von der Art iſt die berühmte Höhle bei Scelieze in Ungarn, jene bei Beſançon, die Höhle im Monte Eoli bei Terni; aus anderen kommt wieder erhitzte Luft, wie z. B. aus den Sudatori bei S. Germano im Neapolitaniſchen; wieder andere enthalten erſtickende Gasarten, vorzüglich Kohlenſäuregas oder Stickgas, wie die Hundsgrotte bei Puz-

zuoli und die Sibyllenhöhle im Neapolitaniſchen, die Höhle auf Antiparos. — Es befinden ſich in den meiſten Kalkhöhlen Knochen von vierfüßigen Landthieren, die abgelöſet, zerſtreut, zum Theile zerbrochen und zerſetzt herumliegen, von einer leicht zerreiblichen meiſtens ſchwärzlichen Erde umgeben ſind, und oft an die Wände der Höhle angewachſen erſcheinen. Dieſe Knochen ſind im Umfange von mehr als zweihundert Meilen ſtets dieſelben und gehören meiſtens zu Bären, die nun nicht mehr leben; einige rühren aber auch von einer Art Hiäne her, andere, aber wenige, gehören zu einer Gattung des Tieger- oder Hundgeſchlechtes, und die wenigſten zu kleinen Thieren, wie z. B. Füchſen, Iltiſſen.

Am reichſten an ſolchen Reſten iſt die Gailenreuther Höhle im Bambergiſchen. Eine Menge Knochen liegen in den inneren Gewölben dieſer Grotte frei da, die meiſten ſind aber in der lockeren Erde des Bodens vergraben, die ſelbſt aus vermoderten thieriſchen Reſten beſteht, und im Feuer einen widrigen Geruch verbreitet. Beim Nachgraben fand man bis zu einer Tiefe von 6 Fuß nichts als Knochen und Moder, aber auch in den Seitenwänden von 18—20 Fuß über dem Boden trifft man noch viele an. In den vorderen Theilen der Höhle iſt die Luft noch ziemlich erträglich, in den hinteren fängt ſie aber an dumpfig zu werden, und wenn man da einen Knochen zerſchlägt, entwickelt ſich aus ihm ein ſcharfer, betäubender Geruch. (Ritter's Beſchreibung der größten und merkwürdigſten Höhlen. Hamburg 1801.)

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

158. Es kann wohl Niemand glauben, daß die Erde in dem Zuſtande, in welchem ſie ſich gegenwärtig befindet, aus den Händen des Schöpfers gekommen ſey, da wir täglich Veränderungen an ihr bemerken, von vielen anderen authentiſche Nachrichten vorhanden ſind, und die unzähligen Ueberbleibſel der organiſchen Körper, die Niederlagen verſchütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehemaliger Gebirge, die Spuren verloſchener Vulcane, die Geſtalt der Thäler, die Formen vieler Gebirge und der Seeküſten u. a. hinreichende Beweiſe eines früheren, von dem gegenwärtigen verſchiedenen Zuſtandes enthalten.

159. Der Fleiß der Menſchen arbeitet unabläßig an der Umſtaltung der Erdoberfläche, und ſelbſt Thiere werden durch den Trieb der Selbſterhaltung gezwungen, zu demſelben Zwecke hinzuarbeiten. So z. B. bauen die Madreporen fortwährend ihre Korallen und erhöhen dadurch den Meeresboden; wenn auch die Wirkungen ihrer Thätigkeit nicht ſo groß ſind, wie man einſt geglaubt hat, indem dieſe Thiere weder in ſehr großen Tiefen noch über die See hinaus arbeiten können, ſo würden ſie doch einzelne Meere für die Schifffahrt ganz untauglich machen, wenn nicht Wellen und Strömungen ihre Gehäuſe wieder zum Theile zerſtörten und fortführten. Auch die

Pflanzenwelt trägt zur Umſtaltung der Erdoberfläche das Ihrige bei. Fortwährend geht die Verweſung und die Bildung neuer Dammerde vor ſich, die den Pflanzen wieder zur Nahrung dient. Viele im Waſſer wachſende Gewächſe von niederer Organiſation, wie z. B. Conſerven, werden zerſtört und in Torf verwandelt. Nach von Marum's Erfahrungen bildet ſich im Baſſin von Harlem innerhalb fünf Jahren ein beinahe 3 Fuß tiefes Torflager.

160. Die Luft trägt ſowohl im ruhigen als im bewegten Zuſtande viel zur Umſtaltung der Erde bei. Durch ihren Einfluß verwittern viele Stoffe, und nicht ſelten hat eine Bergſpitze ein ſo zerriſſenes Ausſehen deßhalb, weil die Verwitterung fortwährend an ihr arbeitet, und einige Stellen mehr angreift als andere; viele nun iſolirt daliegende Felſenblöcke mögen Ueberreſte verwitterter Gebirge ſeyn. D'Aubuiſſon ſah in Schottland an vielen Stellen Baſaltſäulen iſolirt in die Höhe ſtehen, die doch als vulcaniſche Producte bei ihrem Entſtehen eine feſte Stütze haben mußten. Durch dieſe Wirkungen werden die Gebirge erniedrigt und die Thäler erhöht. Die bewegte Luft, der Wind, bringt beſonders in ſolchen Gegenden, die mit Flugſand bedeckt ſind, nicht unbedeutende Wirkungen hervor. Dieſen Sandwehen iſt es zuzuſchreiben, daß in Sandwüſten die Oaſen nach und nach die traurige Geſtalt der Wüſte annehmen, daß die Wüſten ihr Gebiet allmälig vergrößern, wie man auf der Karavanenſtraße zwiſchen Cairo und Syrien am weſtlichen Ufer des Euphrat ꝛc. zu bemerken glaubt.

161. Noch größer ſind die Wirkungen des Waſſers. Das Meer wirkt durch alle ſeine Bewegungen zerſtörend und erweiternd auf die Ufer. An einigen Gegenden erobert es mit langſamen Fortſchritten einen Theil des feſten Landes, an anderen tritt es wieder zurück, und läßt den Boden trocken hinter ſich, ohne jedoch über das Feſtland ein größeres Uebergewicht zu gewinnen, als es bereits ſeit Langem beſitzt. So findet man an der dalmatiſchen Küſte Bauten im Meere, die offenbar auf trockenem Lande angelegt wurden, dafür liegen aber anderwärts viele Städte, die einſt Seehäfen waren, ziemlich weit vom Meere entfernt. Das Anſetzen neuen Landes wird beſonders durch Flüſſe und Bäche bewirkt, die Steine und Erde von den höher gelegenen Gegenden ins Meer führen, und ſie an den Mündungen liegen laſſen. Sie ſpülen auch dort, wo ihr Lauf ſchnell iſt, das Ufer ab, nehmen Erde, Sand und Steine ſtreckenweiſe mit ſich, ſetzen ſie wieder ab, wenn ihre Geſchwindigkeit vermindert wird, machen dadurch ihr Bett ſeichter, dehnen ſich mehr in die Breite aus, oder ändern gar ihren Lauf. Nach Horner führt der Rhein innerhalb 24 St. nicht weniger als 445981 Kubik-Fuß feſter Theilchen bei Bonn vorbei. Manche Flüſſe ſchwellen durch häufigen Regen an, überſchwemmen das feſte Land, und erhöhen es durch den Schlamm, den ſie bei ihrem langſamen Rückzuge zurücklaſſen. In ſolchem Sinne nennt auch Herodot Unterägypten ein Geſchenk des Nils. Wo ſich Gewäſſer unter der Erde verlieren, arbeiten ſie beſtändig an der Un-

tergrabung des feſten Landes, und bewirken dadurch die ſogenannten Erdfälle, welche in Gebirgsgegenden, wo Erdmaſſen auf platten Felſen aufſitzen, nichts Seltenes ſind. So verſank 1585 das Dorf Mottingham bei Kent, 1618 ſtürzte eine Felſenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano, 1806 wurden durch einen Bergſturz des Roßberges mehrere Ortſchaften mit Schutt bedeckt, 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Kl. hohen Lettenſchichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall ſcheint von der Untergrabung des Bodens durch Waſſer herzurühren. — Mit Hülfe der Temperatur ſowohl der höheren als niederen bewirkt das Waſſer auf der Erde ganz eigene Erſcheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmoſphäre herab, und häuft es ſich an hohen Gebirgen an; ſo entſtehen manchmal die ſehr gefährlichen Schneeſtürze und Lawinen, welche ganze Ortſchaften verſchütten, Flußbetten verdämmen, und dadurch auf entfernte Gegenden wirken. Dringt das atm. Waſſer in die Ritzen der Berge ein und gefriert darin, ſo dehnt es ſich mit unglaublicher Kraft aus, zerſprengt das feſteſte Geſtein oder treibt es wenigſtens aus einander, und befördert dadurch die Einwirkung anderer Urſachen.

162. Große Veränderungen gehen ohne Zweifel ſowohl an der Oberfläche als im Inneren der Erde durch die Wirkung der electriſchen Ströme vor ſich, welche durch die Berührung ſo differenter Stoffe, wie ſie den Erdkörper ausmachen, bedingt werden. Das Daſeyn ſolcher Ströme in den Erzgängen iſt wiederholt nachgewieſen worden, und von der mächtigen chemiſchen Wirkſamkeit derſelben kann die Phyſik hinlängliche Beweiſe aufzählen. Becquerel hat durch ſchwache electriſche Ströme mehrere Mineralkörper erzeugt, die man ſonſt nicht künſtlich zu erzeugen vermochte, und auch von mehreren in der Erde vorkommenden und ſich unablässig forterzeugenden Mineralien den electriſchen Urſprung nachgewieſen. (*Ann. de Chim.* 41. 5; 54. 145. Zeitſch. 6. 351.)

163. Schneller als durch die hier genannten Kräfte erfolgen große Veränderungen der Erde durch vulcaniſche Ausbrüche und durch Erdbeben. Wiewohl in den Vulcanen die innere Thätigkeit ohne Zweifel ununterbrochen fortdauert, ſo erfolgen doch nur manchmal kräftigere Ausbrüche. Die Vorboten derſelben ſind Rauchſäulen, die ſich mit ſehr großer Geſchwindigkeit aus dem Krater des Vulcans erheben, und meiſtens aus Waſſerdunſt, Schwefel, Waſſerſtoffgas, kohlenſaurem Gas beſtehen, manchmal ſogar auch Schwefelſäure und Salzſäure mit ſich führen, und nicht ſelten ungeheure Regengüſſe verurſachen. So wie dieſer Rauch häufiger wird, führt er auch Aſche mit ſich, und bekommt dadurch ein weißliches Anſehen, ja die Aſche erſcheint oft in ſo großer Menge, daß dadurch die benachbarten Gegenden völlig verfinſtert werden. Winde führen ſie in Gegenden, welche viele Meilen weit vom Vulcane entfernt ſind. So wird erzählt, daß man beim Ausbruche des Veſuvs im J. 1794 vier Meilen weit ſelbſt

bei Tage nur mit Fackeln herumgehen konnte, und daß die ganze, 50 Meilen weit entfernte Gegend von Calabrien ganz in Wolken gehüllt war. Auf die Aſche folgt gewöhnlich feiner Sand. Dieſer wird von vielen Vulcanen in ſo großer Menge ausgeworfen, daß er bei manchen, wie z. B. beim Aetna, die Hauptmaſſe des Berges bildet, aus dem der Ausbruch erfolgt. Zu dieſem kommen noch Schlacken von Materien, welche im vulcaniſchen Herde geſchmolzen und emporgeſchleudert werden, dabei erhärten, und in Geſtalt abgerundeter Maſſen (vulcaniſche Bomben) herabfallen, wohl auch ungeſchmolzene Steine, die wahrſcheinlich von den Wänden der inneren Höhlungen losgeriſſen werden. Die Kraft, mit der dieſe fortgeſchleudert werden, iſt ungeheuer. Der Veſuv ſoll ſie auf 3600 F. über den Krater in die Höhe treiben, und bei einem Ausbruche des Cotopaxi in Südamerika ſoll ein Felſenſtück von 900 Kubikfuß 3 Meilen weit geſchleudert worden ſeyn. Mit minderer Kraft dringt die Lava hervor. Sie ſteigt ſelten bei großen Vulcanen bis zum eigentlichen Krater des Vulcans, ſondern ſucht ſich durch Druck oder durch Schmelzung der Seitenwände einen Weg, fährt da ſchnell, wie geſchmolzenes Metall hervor, gräbt ſich im Sande, der die Seiten des Berges umgibt, ein Bett aus, und bewegt ſich vorwärts. Wiewohl die Geſchwindigkeit, mit der ſie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge der Maſſe abhängt, ſo iſt ſie doch nur ſelten groß. Auf ebenem Boden geht ſie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird ſie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn ſie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging ſogar einmal einen 20 Schritte breiten, noch im Fluſſe begriffenen Strom. Deßungeachtet iſt ſie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Inneren glüht ſie noch und iſt flüſſig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Inneren flüſſig waren. Spallanzani ging über Lava, die ſeit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Inneren noch einen hineingeſtoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Aehnliches bei der Lava des Veſuvs, die vor 3½ Jahren ausgefloſſen war. Man erſieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintenſteine, welche von einem Lavaſtrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geſchmolzen und verglaſet, und daß Stücke Eiſen im Inneren kryſtalliſirt waren. Außer den hier erwähnten Stoffen werfen die Vulcane noch Ströme heißen Waſſers aus; vorzüglich verbreiten die amerikaniſchen Vulcane oft dadurch Ueberſchwemmungen rings umher. Ein Theil dieſes Waſſers mag auch wohl vom geſchmolzenen Schnee kommen, der die Gipfel mancher Vulcane bedeckt. — Alle dieſe Erſcheinungen finden bei einigen vulcaniſchen Ausbrüchen Statt, während ſich bei anderen nur einige derſelben ereignen. So haben die Vulcane in Amerika Cotopaxi, Pichincha, Turgurahua ſeit Menſchengedenken keine wahre Lava ausgeworfen, wiewohl ſie dieſes ehemals gethan haben mögen, weil ſich in ihrer Nähe Lava befindet, ſondern bloß Aſche, Schlacken und

Steine, Waſſer und Schlamm, wahrſcheinlich, weil ſich die Lava nicht bis zu ihrem Krater erheben und die ungeheuer dicken Seitenwände nicht ſchmelzen kann; die Vulcane in Peru und Quito verheeren das Land überhaupt immer nur durch Waſſer und Schlammauswürfe. Dieſe Wäſſer führen ſogar manchmal lebendige Fiſche von derſelben Art, wie ſie in den benachbarten Bächen leben. Der Vulcan von Macaluba bei Girgenti wirft nur Thon und Waſſer aus; dasſelbe thun auch einige Vulcane in der Umgebung von Modena, auf den Inſeln Tamom, Java ꝛc.

164. Die Ruhezeit eines Vulcans ſcheint im Allgemeinen mit der Höhe ſeines Kraters im geraden Verhältniſſe zu ſtehen. So brennt der niedere Stromboli faſt immer, ſeltener geſchehen Ausbrüche des höheren Veſuvs, noch ſeltener die des noch höheren Aetna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Veſuv 16mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern iſt bei demſelben Vulcane keineswegs immer dieſelbe, oft folgen mehrere Ausbrüche ſchnell auf einander, oft unterbleiben ſie ungewöhnlich lange. So ſchlummerte der Veſuv ſeit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte, und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiä vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Aetna, wovon die Geſchichte erzählte, für Fabel, bis ſie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerſtörte, die traurige Ueberzeugung vom Gegentheile gewannen. Ueberhaupt iſt die Ruhe eines Vulcans meiſtens nur ſcheinbar; denn wenn auch keine größeren Kataſtrophen erfolgen, ſo geht es doch im Inneren ſehr thätig zu, es ſteigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöſe ꝛc. Es ſcheint im Ganzen die vulcaniſche Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu ſeyn.

Merkwürdig iſt, was Spallanzani vom Aetna erzählt, in deſſen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil derſelbe ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Oeffnung von etwa 30 Fuß, aus der ſich eine Rauchwolke erhob, er ſah, als der Wind dieſe Wolke ſeitwärts trieb, in der Tiefe der Oeffnung eine flüſſige entzündete Maſſe, die immer leicht aufwallte, fiel und ſtieg. Auf dem Gipfel des Stromboli ſah er gar die Bewegungen der Lava ſehr deutlich. Sie glich geſchmolzener Bronze, ſank und ſtieg, und wurde an der Oberfläche von großen Blaſen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein Donner ähnliches Geräuſch machten.

165. Die vulcaniſchen Herde müſſen im Inneren der Erde von ſehr beträchtlichem Umfange ſeyn. Dieſes beweiſt die ungemeine Menge der Stoffe, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird, und der Umſtand, daß die meiſten Vulcane aus vulcaniſcher Maſſe beſtehen. So floß aus dem Aetna i. J. 1699 ſo viel Lava hervor, daß daraus vier Veſuve hätten gebildet werden können, die Aſche gar nicht mitgerechnet. Es iſt auch ſehr wahrſcheinlich, daß die Werkſtätte der meiſten Vulcane mit einander in Verbindung ſtehen; denn oft treffen ihre ſonſt nicht ſo häufigen Ausbrüche zugleich ein, und manchmal wechſeln entfernte Vulcane mit einander ab. So brachen i. J. 1769

der Aetna und mit ihm zugleich die Vulcane auf den lipariſchen Inſeln aus, die Vulcane Islands und Kamtſchatkas tobten oft zugleich, und i. J. 1693 verſank im großen indiſchen Ocean die Inſel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demſelben Tage, an welchem der Aetna am furchtbarſten wüthete. Der Hekla und Veſuv wechſeln oft mit einander ab. Es iſt kaum zu bezweifeln, daß der Hauptſitz der vulcaniſchen Thätigkeiten tief im Inneren der Erde in der Region der Urgebirge ſey. Denn die vulcaniſchen Producte enthalten faſt durchaus dieſelben Beſtandtheile, wie die Urgebirge, ja es werden oft von Vulcanen unveränderte Stücke von Urgebirgsmaſſen ausgeworfen; endlich wäre es ſonſt nicht begreiflich, wie ſo entfernte Vulcane mit einander communiciren, und wie ein Vulcan ſo viel Maſſe auswerfen könnte.

166. Daß bei den Phänomenen der vulcaniſchen Ausbrüche expanſible ſtark erhitzte Maſſen hauptſächlich thätig ſind, daran iſt kaum zu zweifeln; daß unter dieſen wieder die Waſſerdünſte eine große Rolle ſpielen, zeigt das Hervordringen derſelben aus den Schlünden der Vulcane, und der Umſtand, daß es wohl im Inneren der Erde, beſonders in ſo großer Tiefe, wo ſich der vulcaniſche Herd befinden mag, an Waſſer nicht gebrechen kann, ohne daß dazu gerade die Nähe des Meeres nöthig iſt. Allein es handelt ſich vorzüglich darum, wodurch die Erhitzung entſtehe, welche Dämpfe und eingeſperrte Luftarten erzeugt, und das innere Geſtein eines Vulcans ſchmilzt. Die äußere Luft kann keinen weſentlichen Antheil daran nehmen, weil dieſe da nicht eindringen kann, wo ſo ſtark condenſirte Gasarten mit ſolcher Gewalt hervorkommen. Nach dem jetzigen Standpunkte der Naturlehre kann dieſe Erhitzung erklärt werden: 1) durch die innere electriſche Thätigkeit der Erde, vorzüglich durch jene, welche die Berührung ihrer ungleichartigen Beſtandtheile erzeugt, 2) durch chemiſches Einwirken der Stoffe auf einander, beſonders des Waſſers und der metalliniſchen Grundlagen der Erden, welche im Inneren der Erde wahrſcheinlich noch im reinen Zuſtande vorhanden ſind. 3) Kann ſich die Erde noch von der Urzeit her in ihrem Inneren im flüſſigen, geſchmolzenen Zuſtande befinden. — Eine electriſche Thätigkeit im Inneren der Erde von ſolcher Intenſität, wie ſie zu den hier in Rede ſtehenden Phänomenen erfordert wird, dürfte ſich wohl ſchwerlich nachweiſen laſſen; eine Entzündung brennbarer Maſſen (z. B. der Schwefelkieſe) im Inneren der Erde durch chemiſche Wirkung reicht nicht aus zur Erklärung aller bei vulcaniſchen Ausbrüchen vorkommenden Phänomene, wo die Feuererſcheinungen bei weitem nicht die Hauptſache ſind; es iſt nicht begreiflich, wie der innere metalliſche Erdkern immer noch mit Waſſer in Berührung kommen kann, da doch die einmal gebildete Oxydrinde den Zutritt desſelben hindern muß. Demnach bleibt nur die dritte Urſache übrig, und aus dieſer laſſen ſich in der That alle vulcaniſchen Erſcheinungen vollkommen erklären. Gelangt nämlich Waſſer in jene Tiefen der Erdrinde, wo Glühhitze herrſcht, ſo geht es in ſehr expanſible Dünſte über, und wirkt auch auf die daſelbſt be-

ſindlichen oxydirbaren Körper (z. B. Eiſen), es wird zerſetzt, ſein Waſſerſtoff nimmt Gasform an, und dieſes Gas, ſo wie jene Dämpfe, ſind das Hauptagens bei den vulcaniſchen Eruptionen gerade ſo, wie ſie es bei Pulverexploſionen ſind. (Ueber Vulcane ſiehe: Hamilton's Beobachtungen über den Veſuv, den Aetna und über andere Vulcane, aus d. Engl. Berlin 1763. Desſelben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu, Reiſe nach den lipariſchen Inſeln. Aus d. Franz. Leipzig 1783. Spallanzani, Reiſe nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuiſſon's Geognoſie. Dresden 1821. 1. Bd. S. 150 u. f. Ueber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. *Scrope on the volcanos. London* 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitſch. 5. 222.)

167. Mit den Ausbrüchen der Vulcane ſtehen die Erdbeben in Verbindung. Dieſe ſind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbeſtimmten Zwiſchenräumen nach verſchiedenen Richtungen, mit großer aber meßbarer Geſchwindigkeit geſchehen, und oft von ſtarken, ſenkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet ſind. Dabei ſpaltet ſich oft mit einem unterirdiſchen Getöſe die Erde, es dringen Waſſer und entzündete, ſchwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmoſphäre werden unruhig, Gebäude ſtürzen ein und begraben die unglücklichen Bewohner unter ihren Trümmern, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, ſchon vorhandene verſchlungen, und ſo ganze Gegenden verwüſtet und umgeſtaltet. — Die Erdbeben ſind an keine Jahres- oder Tageszeit gebunden, ſie ereignen ſich in kalten und warmen, naſſen und trockenen Jahren, und bei jedem Alter des Mondes. Meiſtens ſieht man plötzliche Stürme, große Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdiſches Getöſe, Unruhe der Thiere, trübe Beſchaffenheit der Luft als Vorboten dieſes traurigen Ereigniſſes an, doch kann man keines von allen dieſen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil ſie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne ſie erfolgen. — Die Urſache der Erdbeben iſt gewiß dieſelbe, welche in Vulcanen vorzüglich und zwar concentrirt thätig iſt. Es iſt aber nicht nöthig, anzunehmen, daß überall, wo man Stöße verſpürt, die Urſache der Erdbeben unmittelbar wirke, indem ſich die Erſchütterungen nach Art des Schalles fortpflanzen können. (Kries, von den Urſachen der Erdbeben. Gekrönte Preisſchrift. Leipzig 1826.)

168. So wirkſam auch die bisher beſprochenen, auf beſtändige Veränderung der Erdoberfläche hinarbeitenden Kräfte ſind, und wie ſehr ſich auch durch die Länge der Zeit ihre Wirkungen anhäufen mögen; ſo können wir doch daraus nicht alle Umwälzungen der Erde ableiten, von denen uns die gegenwärtige Beſchaffenheit der Erdrinde die unumſtößlichſten Beweiſe liefert. Wie ausgedehnt, hoch und an-

haltend müßten jene Ueberſchwemmungen geweſen ſeyn, von welchen Conchylien und andere Waſſerthiere in mehreren fußhohen Lagern auf den Gipfeln der höchſten Berge abgeſetzt wurden, wie oft müßten ſich derlei Ueberſchwemmungen wiederholt haben, wenn von ihnen ſo viele, durch fremdartige Zwiſchenlager getrennte Ablagerungen organiſcher Reſte herrühren ſollten, und wie wäre es begreiflich, daß ſich hie und da an höheren Stellen mehr derlei Abſätze gebildet haben, als an tiefer liegenden? Es gibt uns aber der Bau der Erde ſelbſt den Fingerzeig, wo wir die Quelle ſo umfaſſender Veränderungen derſelben zu ſuchen haben. Die abgerundete, am Aequator durch die Schwungkraft herausgetriebene Geſtalt der Erde beweiſet hinreichend, daß ſich dieſelbe einſt in einem flüſſigen Zuſtande befunden habe, und die kryſtalliniſche Beſchaffenheit der unterſten bekannten Lagen der Erdrinde, nämlich der Urgebirge, ihr Eindringen zwiſchen andere Gebirgsarten ꝛc., zeugen für den Urſprung derſelben aus einer geſchmolzenen Maſſe, und begründen die Annahme, der flüſſige Zuſtand ſey nicht durch Einwirkung eines chemiſchen Auflöſungsmittels, ſondern durch Hitze hervorgebracht worden. Damit ſtimmt auch die (ſpäter weiter anzuführende) Erfahrung vollkommen überein, daß noch gegenwärtig die Erde eine ihr eigenthümliche Temperatur beſitze, welche von außen gegen innen zunimmt, und berechtiget zu der weiteren Folgerung, daß ſich der Erdkern noch gegenwärtig in einem geſchmolzenen Zuſtande befinde, und nur mit einer feſten Kruſte überzogen ſey. Im geſchmolzenen Zuſtande mußte wohl die Erde ohne Erhöhungen und Vertiefungen ſeyn, und das etwa auf ihr befindliche Waſſer konnte bei ſo hoher Temperatur nur unter einem mächtigen Drucke beſtehen, zu deſſen Erzeugung die vorhandene heiße Dunſtmaſſe ſelbſt das Meiſte beitragen konnte. So wie aber der Proceß des Feſtwerdens begann, mußten ſich durch den Kryſtalliſationsproceß Erhöhungen, mithin auch Vertiefungen bilden, wie wir dieſes an geſchmolzenen, geſtehenden Maſſen ſo häufig im Kleinen bemerken. Somit liegt der Grund zur Entſtehung der Unebenheiten der Erde im Abnehmen ihrer Temperatur. Die Urgebirge mögen das Product des erſten Kryſtalliſationsprozeſſes geweſen ſeyn, auf welche ſich dann die ſpäteren (Flötz-) Gebirge aus dem Waſſer abſetzten.

169. Die Beſchaffenheit, Lagerungsweiſe, Menge und Mannigfaltigkeit der in Flötzgebirgen vorkommenden, organiſchen Ueberreſte und die Lagerung der Schichten dieſer Formationen zeigen deutlich, daß hier mehr als ein ruhiges Abſetzen aus Waſſer im Spiele geweſen ſey. Die Schichten dieſer Gebirge befinden ſich in ebenen Gegenden in faſt horizontaler Lage, in der Nähe von bergigen Gegenden liegen dieſe Schichten geneigt, an den Abhängen der Berge beinahe oder völlig vertical. Wären ſolche Schichten in verticaler Lage vom Waſſer abgeſetzt worden, etwa ſo, wie ſich noch heut zu Tage Stalactiten an verticalen Wänden aus Waſſer abſchneiden; ſo müßten dieſe Lagen, wenn ſie an zwei Bergen vorhanden ſind, in allen Zwiſchenpunkten in gleicher Höhe gefunden werden. Dieſes iſt aber nicht der Fall. Die

Kalkſchichten des hohen Buet in Savoyen und des Montperdu ſind gleichzeitige Formationen mit jenen an den Küſten des Canals, und doch erſtrecken ſich ſolche Formationen im nördlichen Frankreich nicht über 600 F. Ferner liegen nach Sauſſure's Beobachtungen die eiförmigen Kieſelgeſchiebe, welche ſich oft in den Flötzgebirgen befinden, dort wo die Schichten eine horizontale Lage haben, ſtets ſo, daß ihre große Axe horizontal iſt, mithin in ihrer ſtabilſten Lage, wo aber die Erdſchichten geneigt ſind, da ſind auch die großen Axen aller Geſchiebe, welche in der Richtung dieſer Neigung liegen, eben ſo geneigt und nur jene trifft man noch mit der großen Axe in horizontaler Lage an, bei denen dieſe Axe mit der Ebene der Neigung einen rechten Winkel machen. Dieſe Gründe machen es höchſt wahrſcheinlich, daß ſelbſt, nachdem die Erdkruſte ſchon gebildet war, noch durch den fortgeſetzten Erſtarrungsproceß neue Berge aus dem Inneren der Erde emporgeſtiegen ſeyen und die Kruſte durchbrochen haben, ja daß ſolche Emporhebungen noch gegenwärtig Statt finden. Nach Pöppig ſah man in der Südſee im Jahre 1825 einen ſchwarzen, vegetationsleeren Fels, der einige Fuß über das Waſſer hervorragte. Er beſtand aus einem breiten Ringe von 800 Schritt Durchmeſſer, der in der Mitte einen kleinen Teich hatte; aus mehreren Riſſen des Ringes ſtieg Rauch, das Waſſer war in der Nähe heiß, und ſelbſt noch in der Entfernung von 4 engl. Meilen um 10—15'' F. wärmer als anderwärts in gleicher Breite. Der Krater fiel ſo ſchnell ab, daß man ſchon bei 100 Faden Entfernung keinen Grund mehr finden konnte. Auf der flachen und fruchtbaren azoriſchen Inſel St. Maria fand man nach Jahresfriſt alles umgeworfen und zerſtört, und ſtatt der Fläche einen 2000 F. hohen Berg, mit einem Krater von 15 engl. Meilen im Durchmeſſer. Im Krater von Aſtruin erheben ſich gegen 200 F. hohe Hügel aus Trachyt ohne Lava, feſt und zuſammenhängend. Der Boden des Kraters von Santorin erhebt ſich von Jahr zu Jahr mehr, und iſt jetzt ſchon der Meeresfläche nahe, während er früher über 600 F. unter derſelben lag. Dieſe Krater ſind aber keine Vulcane, und ſelbſt die der jetzt noch thätigen Vulcane können nicht durch Anhäufen von Lavaſtrömen entſtanden, ſondern müſſen Erhebungskrater ſeyn, weil bei denſelben die Lava eine zuſammenhängende, nur hie und da durch Klüfte unterbrochene Maſſe bildet, und nach Buch und Beaumont's Meſſungen Laven einen ſolchen Zuſammenhang nur behalten, wo ſie über einen unter $4^1/_2{}^\circ$ geneigten Abhang fließen. Die Hypotheſe der Emporhebung hat ſo viel innere Wahrſcheinlichkeit, und wird von ſo vielen äußeren Gründen unterſtützt, daß ſie gegenwärtig faſt allgemein von Geologen angenommen wird. Man kann daraus nicht bloß das Vorkommen dicker Muſchellagen auf den Gipfeln der höchſten Berge leicht begreifen, da dieſe einſt tief liegender Meeresboden waren, ſondern auch das relative Alter der einzelnen Gebirge nachweiſen, wie dieſes Beaumont mit Glück an vielen Gebirgen gethan hat. Denn es iſt klar, daß ſolche Emporhebungen zu verſchiedenen Zeiten eingetreten ſeyn können, und daß jene Flötzgebirge, deren Schichten

an den Abhängen der Gebirge nicht in horizontaler Lage vorkommen, bei der Erhebung der Gebirge ſchon vorhanden waren, mithin älter ſeyen als dieſe; jene aber, die ſich in horizontaler Lage bis zum Fuße der Gebirge erſtrecken, müſſen von jüngerer Bildung ſeyn, als die Gebirge. Dieſen Kriterien gemäß ſind das ſächſiſche Erzgebirg, der Côte d'Or in Burgund, und der Mont Pilas in Forez unter den von Beaumont unterſuchten Gebirgen die älteſten; weit jünger iſt das Bergſyſtem der Pyrenäen und Apenninen, noch jünger jenes der öſtlichen Alpen mit dem Montblanc. Der Hauptgebirgsſtock der Alpen, mehrere Ketten der Provence, der Balkan, der Caucaſus, die Himalayagebirge und der Atlas ſind viel ſpäteren Urſprunges. Merkwürdig iſt es, daß die gleichzeitig entſtandenen Gebirge ſtets in einem größten Kreiſe der Erde liegen, und daß demnach auch die Punkte des kleinſten Widerſtandes dieſelbe Lage haben mußten. Dieſen Umſtand benützte Beaumont, um darnach das Alter jener Gebirgsketten zu beſtimmen, an denen er den Prüfſtein des oben angegebenen directen Kennzeichens ihres Alters nicht anlegen konnte, und ſo iſt er dahin gelangt, dreizehn einzelne Emporhebungen anzunehmen. (Humboldt in Pogg. Ann. 25. 1; v. Buch ebend. 37. 169.)

170. Noch keine der in ungeheurer Anzahl aufgeſtellten geologiſchen Hypotheſen hat ſich ſo reich an leichten und naturgemäßen Folgerungen dargeſtellt, wie die eben genannte. Es iſt klar, daß die Emporhebung eines Gebirges aus dem Inneren der Erde deſto mehr Kraft fordern, aber auch ein deſto größeres Product liefern müſſe, je dicker die bereits gebildete Erdkruſte zur Zeit dieſer Kataſtrophe war, mithin je ſpäter ſich dieſelbe ereignete, und in der That ſind die jüngeren Gebirge auch die höchſten. Daß bei ſolchen Ereigniſſen ein vielfaches Berſten und eine Theilung der emporgehobenen Maſſen eintreten mußte, iſt nicht zu bezweifeln, und daher mögen viele Thäler ihren Urſprung haben. Man braucht nun nicht mehr zu fragen, wie denn die im Jura angetroffenen Granitſtücke von den Alpen durch das Thal der Aar an ihren jetzigen Platz kommen konnten; denn das Juragebirge iſt jünger als die Alpen und das Thal der Aar. Daß an der Stelle ſolcher gewaltiger Naturereigniſſe Thiere ſchnell und in Maſſe zu Grunde gehen mußten, iſt leicht zu errathen, und daraus begreift man wohl, warum man ganze Neſter von Thieren in Lagen antrifft, die deutlich zeigen, daß dieſelben eines ſchnellen Todes geſtorben ſeyen, wie z. B. Fiſche, die ganz ausgeſtreckt, oft noch den Raub feſthaltend oder mit der jüngſt verſchlungenen Beute im Magen, angetroffen werden. Erhebungen des feſten Landes aus dem Meere mußten nothwendig das Gleichgewicht des Waſſers ſtören, weit ausgedehnte Ueberſchwemmungen hervorbringen, und hiermit mittelbar die Wirkungen erzeugen, welche mit Ueberſchwemmungen ſtets verbunden ſind. Daß die mit der fortſchreitenden Erkältung der Erde nothwendig verbundene Rückkehr des bei ihrer urſprünglich hohen Temperatur in Dünſte verwandelten Waſſers zu ähnlichen Cataſtrophen den Grund legen konnte, iſt einleuchtend. Das Factum der Emporhebungen der

Urgebirge läßt nun wohl begreifen, daß die Bildung der Gänge durch Emporſteigen der fremdartigen Maſſen, nicht durch eine Infiltration von oben erfolgt ſeyn müſſe.

(Phyſiſche Erdbeſchreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's phyſiſche Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förſter's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine phyſikaliſche Erdbeſchreibung, von Hochſtetter. Stuttgart 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phyſ. Welt von J. G. Sommer. Prag 1818—1825. Phyſikaliſche Geographie von Fr. Hoffmann. Berlin 1837. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruſte). Lehrbuch der mathem. u. phyſ. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathematiſchen und phyſiſchen Geographie nebſt Atmoſphärologie von Dr. S. W. Muncke. Heidelberg 1830. Handbuch der phyſikaliſchen Erdbeſchreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geſchichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. *De la Metherie leçons de Géologie. Paris* 1816. Bakewell Einleitung in die Geologie ꝛc. Freiberg 1815. Reichetzer Anleitung zur Geognoſie. Wien 1821. D'Aubuiſſon Geognoſie. Dresden 1821. Neues Syſtem der Geologie, von A. Ure 1830. *Elémens de Géologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris* 1831. *A. Geological Manual by H. De la Bêche. London* 1831. Ins Deutſche überſetzt von Dechen, unter dem Titel: Handbuch der Geognoſie von *De la Bêche*. Berlin 1832. *A System of Geology by J. Macculloc. London* 1831. *Principles of Geology by Ch. Lyell. London* 1830.)

Dritter Abſchnitt.

Meteorologie.

171. Die Atmoſphäre unſerer Erde iſt beſtändig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr geſtört, weil bald dort, bald da eine Aenderung in der Ausdehnſamkeit der Luft vorgeht und durch die ununterbrochen vor ſich gehenden chemiſchen Prozeſſe, ſo wie durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Beſtandtheile der Atmoſphäre beſtändig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig ſind. Dazu kommen noch diejenigen Erſcheinungen im Luftkreiſe, welche durch das Licht, die Electricität und vielleicht auch durch manche, unſeren phyſikaliſchen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Dieſe Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verſchiedenem Grade der Geſchwindigkeit auf einander, und machen zuſammen die Witterung, oder, wie man zu ſagen pflegt, das Wetter aus. Die Erſcheinungen des Luftkreiſes auf erkannte Naturgeſetze zurückzuführen, iſt der eigentliche Gegenſtand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognoſie (Meteoromantie) oder der Kunſt, die Witterung vorherzuſagen, verwechſeln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die ſich überdieß meiſtens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erſtes Kapitel.

Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt.

172. Es iſt aus den Geſetzen des Gleichgewichtes der Gaſe (I. 204) bekannt, daß die atmoſphäriſche Luft im Zuſtande der Ruhe die Erde wie eine Hohlkugel umgebe und bis zu jener Höhe reiche, wo die Schwere jedes Theilchens ſeiner abſtoßenden Kraft das Gleichgewicht hält. Um dieſe Höhe berechnen zu können, müßte man die Temperatur an der Oberfläche der Erde und das Geſetz, nach welchem ſie ſich nach oben ändert, kennen. Leider iſt man über dieſes Geſetz nicht ganz im Reinen, und man hat ſich bisher noch immer nicht entſcheidend ausſprechen können, ob in Höhenpunkten, deren Abſtände vom Horizonte der Erde, Glieder einer arithmetiſchen Reihe bilden, die Temperaturen Glieder einer arithmetiſchen und einer geometriſchen Progreſſion ſind,

zweifelt aber nicht daran, daß eines dieſer zwei Geſetze das wahre ſey. Die Wahrſcheinlichkeit ſpricht aber für letzteres. Es mag aber was immer für ein Geſetz der Wärmeabnahme nach oben gelten, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß die Höhe der Atmoſphäre am Aequator größer als an den Polen, und überhaupt nicht ganz beſtändig ſey, ſondern an jeder Stelle innerhalb gewiſſer Grenzen ſchwankt.

Schmidt hat die Höhe der Atmoſphäre für beide Annahmen und für die Vorausſetzung berechnet, daß die Temperatur für eine Erhebung von 121.1 Toiſen um 1° R. abnimmt. Er findet nach der erſten Annahme für die Aequatorialgegend, wo bei einem mittleren Barometerſtande von 337.3 P. L der mittlere Thermometerſtand + 22° 4 R. iſt, die Höhe der Atmoſphäre = 27631 Toiſen = 7.22 geogr. Meilen; hingegen für die Stelle der Erde, wo bei einem gleichen mittleren Barometerſtande die Temperatur = 0° iſt, 25128 T. = 6.6 geogr. M. Für die zweite Annahme findet er die Höhe der Atmoſphäre am Aequator = 104975 T. = 27.5 geogr. M., und an der Stelle, wo die mittlere Temperatur = 0° R. iſt, 103518 T. = 27.1 geogr. M. (Gilb. Ann. 62. 309. Zeitſch. 8. 420.)

173. Den bekannten Geſetzen des Gleichgewichtes gemäß ſollte die Atmoſphäre von oben nach unten an Dichte und Expanſivkraft zunehmen, und daher an der Erdoberfläche die größte Dichte beſitzen. Allein dieſes Geſetz beruht auf der Annahme eines allenthalben gleichen Wärmegrades, und muß daher in der Wirklichkeit, wo beinahe jede Luftſchichte eine andere Temperatur hat, große Ausnahmen erleiden. Insbeſondere iſt klar, daß die Dichte der Luft wegen des nach oben abnehmenden Druckes abnehmen, wegen der nach oben abnehmenden Temperatur aber wachſen ſoll. In der Regel iſt zwar die erſtere Wirkung die überwiegende, und daher die Luft oben dünner als unten; es gibt aber doch Fälle, wo das Gegentheil einige Zeit hindurch Statt findet, aber durch das Herabſinken der oberen ſchwereren Schichten in die unteren Regionen bald aufgehoben werden muß. Daß der Luftdruck bei gleicher Entfernung vom Centrum der Erde nicht derſelbe ſey, wie es die Geſetze des Gleichgewichtes verlangen, iſt ſchon früher geſagt worden. Sehr wichtige Erſcheinungen bringt das in der Luft befindliche Waſſer hervor, indem es das auffallende Licht mannigfaltig modificirt und auch auf die Erwärmung und Erkaltung der Erde einen großen Einfluß ausübt, ja ſogar zur Entwicklung der Luftelectricität beiträgt, durch welche die impoſanteſten Erſcheinungen hervorgebracht werden. Alle dieſe Veränderungen der Luft beſtimmen das **Klima**, d. h. den Zuſtand der Wärme, der Feuchtigkeit und der Luft, und deren Bewegung an einem Orte.

Zweites Kapitel.

Veränderungen der Beſtandtheile der Atmoſphäre.

174. Die Hauptbeſtandtheile der Atmoſphäre ſind bekanntlich **Sauerſtoffgas**, **Stickgas**, **Kohlenſäuregas** und Waſ-

ſerdünſte; es kommen aber überdieß örtlich noch manche andere Stoffe, wie z. B. nach Witting (Kaſt. Arch. 5. 189) freie Salzſäure, ſalzſaurer Kalk, Kohlenwaſſerſtoff, organiſche Subſtanzen, nach Bouſſingault Kohlenwaſſerſtoff darin vor; bei Gewittern hat man auch Salpeterſäure in der Luft gefunden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieſe Stoffe nur als Gemengtheile neben einander exiſtiren, ohne mit einander chemiſch verbunden zu ſeyn; denn ein mechaniſches Gemenge dieſer Stoffe nach dem in der Atmoſphäre vorhandenen Verhältniſſe zeigt genau dieſelben Eigenſchaften, welche man in der atm. Luft bemerkt, z. B. dasſelbe ſpecifiſche Gewicht, dasſelbe Lichtbrechungsvermögen, und ihre gleichförmige Mengung iſt ganz den Geſetzen des Gleichgewichtes der Gaſe gemäß (I. 209). Hingegen bemerkt man an der atm. Luft keine jener Eigenſchaften, welche die chemiſchen Verbindungen von Stickſtoff mit Sauerſtoff charakteriſiren, ja das Verhältniß dieſer zwei Stoffe in der Atmoſphäre widerſpricht den ſtöchiometriſchen Geſetzen geradezu. Eine natürliche Folge dieſer Behauptung iſt, daß jeder der Hauptbeſtandtheile der Atmoſphäre gleichſam eine für ſich beſtehende, in den Zwiſchenräumen der übrigen Beſtandtheile befindliche Atmoſphäre um die Erde bildet, und daß der geſammte Luftdruck aus der Summe des Druckes der Sauerſtoff-, Stickſtoff-, Kohlenſäure- und Waſſeratmoſphäre beſtehe. Die Dichte jeder dieſer Atmoſphären nimmt nach oben nach dem Mariotte'ſchen Geſetze ab.

175. Die Beſtandtheile der Atmoſphäre ſind beſtändigen Veränderungen unterworfen. Durch Verbrennen, Fäulniß, Gährung und durch das Athmen der Thiere wird beſtändig Sauerſtoffgas verzehrt, durch das Leben der Pflanzen, durch Gährung und Verbrennen fortwährend Kohlenſäuregas entwickelt; das Waſſer verdünſtet faſt ununterbrochen. Dieſe Veränderungen gehen allerdings nur in den unteren Schichten der Atmoſphäre vor, aber weil deren Beſtandtheile nur mit einander gemengt, nicht chemiſch an einander gebunden ſind, ſo exiſtiren ſie unabhängig von einander, jeder Beſtandtheil ſteht nur mit ſich ſelbſt im Gleichgewichte, und der örtliche Abgang oder Ueberſchuß eines Theiles wird durch Zu- oder Abfluß aus der Umgebung ausgeglichen. Daher muß jede Veränderung in den unterſten Schichten auch auf die oberen wirken, und demnach ein beſtändiges Beſtreben herrſchen, allenthalben eine gleichförmige Mengung der Beſtandtheile der Atmoſphäre zu erzeugen. Deßungeachtet kann einer oder der andere dieſer Beſtandtheile an einem Orte ein relatives Uebergewicht bekommen, weil der Abfluß, welcher zur Herſtellung des Gleichgewichtes nothwendig iſt, durch mechaniſche Hinderniſſe, wie z. B. durch entgegengeſetzte Luftſtröme, durch andere Gaſe, durch verminderte Communication verzögert wird. Daher kommt es, daß das Kohlenſäuregas und die Waſſerdünſte in den unteren Regionen in verhältnißmäßig größerer Menge vorhanden ſind, als in den oberen, und daß in Kellern, Brunnen, verſchloſſenen Gängen ꝛc. die Luft nicht ſelten entweder wegen zu geringem Sauerſtoffgehalte unathembar oder durch ſchädliche

Gaſe, wie z. B. durch Kohlenwaſſerſtoff-, Schwefelwaſſerſtoff-, Kohlenſäuregas vergiftet iſt.

Hieraus wird erſichtlich, daß man nur mit Vorſicht Orte betreten darf, wo der Luftwechſel erſchwert iſt, und man einen Abgang an Sauerſtoffgas oder die Gegenwart ſchädlicher Gaſe zu befürchten Grund hat. Ein Licht an einer Stange vor ſich herzutragen, und ſich durch das Erlöſchen desſelben an die Rückkehr mahnen zu laſſen, ſichert nicht immer gegen Unglück; denn lichtverlöſchend und unathembar ſind zwei ſehr verſchiedene, nicht immer gleichzeitig vorhandene Eigenſchaften. Es gibt Luftarten, in denen die Lichter vorzüglich brennen und doch Menſchen erſticken, und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menſchen leben können; glücklicher Weiſe kommen aber die erſteren ſeltener vor, als die letzteren. Atmoſphäriſche Luft kann $\frac{1}{10}$ Kohlenſäuregas dem Volum nach enthalten, ohne ſchädlich zu werden; $\frac{1}{250}$ſtel Volum Schwefelwaſſerſtoffgas der atm. Luft beigemengt, tödtet nach Dupuytren ſchon in einer Minute ein Pferd; $\frac{1}{800}$ſtel einen Hund von mittlerer Größe; $\frac{1}{1500}$ſtel einen Vogel auf der Stelle. Thenard empfiehlt darum auch dieſes Gas zum Vertilgen ſchädlicher Thiere (*Ann. de Chim.* 49. 457. Ueber die unterirdiſchen Gasarten ꝛc. von A. v. Humboldt. Braunſchweig 1799.)

176. Unter den Hauptbeſtandtheilen der atm. Luft ſind die Waſſerdünſte und das Kohlenſäuregas allein bald in größerer, bald in geringerer Menge vorhanden, während Sauerſtoffgas und Stickgas ſtets in demſelben Verhältniſſe vorkommen; doch darf man dabei nicht vergeſſen, daß die Mittel, welche uns zur Prüfung des Waſſer- und Kohlenſäuregehaltes der Luft zu Gebote ſtehen, weit empfindlicher ſind, als jene, mittelſt welcher wir die atm. Luft auf Sauerſtoff prüfen. Der Kohlenſäuregehalt der Atmoſphäre iſt in trockenen Tagen größer als nach einem Regen, weil das Regenwaſſer einen Theil dieſes Gaſes aufnimmt; bei anhaltender Sommerhitze und bei anhaltendem Froſte (der größeren Trockenheit wegen) größer, als in mäßig warmen und feuchten Tagen, über Waſſer kleiner als über dem feſten Lande, in Städten größer als auf dem Lande, auf Bergen größer als in Ebenen, und bei windigem Wetter größer als bei Windſtille. Es ſcheint ein periodiſches Wachſen und Abnehmen des Kohlenſäuregehaltes der Luft Statt zu finden, und zwar fand Sauſſure, daß zu Genf und in der Umgebung in der Mitte des Tages das Minimum, gegen Ende der Nacht das Maximum der Kohlenſäure vorhanden ſey, daß dieſelbe in den letzten Stunden der Nacht am ſchnellſten wachſe, in den erſten des Tages am ſchnellſten abnehme. Auf Bergen ändert ſich der Kohlenſäuregehalt durch den Einfluß der Nacht gar nicht, in Städten wächſt er des Nachts minder als auf dem Lande. (Sauſſure in Gilb. Ann. 54. 217; Zeitſch. 5. 356; 8. 351.) Wie veränderlich der Waſſergehalt der Luft ſey, iſt ohnehin bekannt.

Nach Th von Sauſſure beträgt der Kohlenſäuregehalt der atm. Luft im Mittel 0.0415 pCt. dem Volum nach; Watſon fand ihn im Freien = 0.045 und in der unreinen Atmoſphäre von Bolton 0.05300. Nach Bouſſingault enthält die Atmoſphäre von Lyon davon 0.00046. Nach Dalton ſollen die in der Luft befindlichen Dünſte bald einer

Queckſilberſäule von 0.1 Z., bald einer Säule von 0.6 Z. das Gleichgewicht halten, und daher auf Rechnung der Dünſte $\frac{1}{188}$ bis $\frac{1}{30}$, alſo im Mittel der 100ſte Theil des ganzen Druckes der Atmoſphäre kommen. Demnach betragen die in der Luft enthaltenen Gaſe und Waſſerdünſte

	dem Volum nach	dem Gewichte nach	Druck in Zollen beiläufig
Sauerſtoffgas . .	0.2100 . . .	0.2308 . . .	6.668
Stickgas	0.7796 . . .	0.7624 . . .	22.031
Kohlenſäuregas. .	0.0004 . . .	0.0006 . . .	0.017
Waſſerdünſte . .	0.0100 . . .	0.0062 . . .	0.179
	1.0000	1.0000	28.895

Es iſt klar, daß dieſes Verhältniß nicht in allen Höhen herrſchen kann, indem jede der vier Atmoſphären für ſich nach oben an Dichte abnimmt. In einer Höhe von 10.000 F. entſpricht der Sauerſtoffatm. nur mehr ein Druck von 4.48 Z., der Stickſtoffatm. ein Druck von 14.81 Z., der Kohlenſäureatm. ein Druck von 0.011 Z. und der Waſſeratm. ein Druck von 0.012 Z.

Drittes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erde.

177. Der Wärmezuſtand der Erde und ihrer Atmoſphäre hat auf das Gedeihen der Gewächſe und auf das Leben der Thiere, ja ſelbſt auf das Befinden des Menſchen einen ſo großen Einfluß, daß es wohl der Mühe werth iſt, die Vertheilung der Wärme und die jedem Erdſtriche zu jeder Zeit eigene Temperatur, ſo weit es der Zuſtand unſerer Kenntniſſe geſtattet, aus den bekannten Naturgeſetzen zu erklären, um ſo mehr, als durch den Wärmezuſtand das Klima eines Landes vorzüglich charakteriſirt wird. Bekanntlich unterliegen ſowohl die Temperatur der Erdoberfläche, als auch jene der ihr nahen Luftſchichten bedeutenden Veränderungen, und dieſe bieten zwei Perioden dar, eine tägliche und eine jährliche, die mit der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde, mithin mit dem Stande der Sonne gegen die Erde in der innigſten Verbindung ſtehen. Täglich nimmt die Temperatur von Sonnenaufgang bis 1 — 3 St. nach Mittag zu, und ſinkt wieder von da an, bis ſie ihr Minimum erreicht, wenn nicht Winde, Wolken, Waſſerniederſchläge ꝛc. dieſen Gang der Wärme ſtören. Eben ſo ſteigt die Temperatur der einzelnen Tage im Allgemeinen von der Zeit ihres Minimums bis zu ihrer größten Höhe, und ſinkt von da wieder bis zu ihrem kleinſten Werthe. Das Geſetz der Ab- und Zunahme der Temperatur, der Unterſchied zwiſchen den beiden Wärmeextremen, ſowohl täglichen als jährlichen, und der mittlere Zuſtand der Wärme richtet ſich hauptſächlich nach der geogr. Breite, und man theilt in dieſer Beziehung die ganze Erde in fünf Zonen oder Erdgürtel, nämlich in eine heiße Zone, zwiſchen den beiden Wendekreiſen, in zwei gemäßigte, zwiſchen jedem Wendekreiſe und dem Polarkreiſe derſelben Erdhälfte, und in zwei kalte, von jedem Polarkreiſe bis zum entſprechenden Pole.

178. In der heißen Zone zerfällt das Jahr in zwei Jahreszeiten, nämlich in die trockene, heiße Jahreszeit, und in die Regenzeit. Wenn die Mittagsſonne dem Zenith nahe rückt und mit ihrem glühenden Strahle die Pflanzenwelt zu vertilgen droht, überzieht ſich der Himmel mit trübem Gewölke, es beginnt der tropiſche Regen, der mit Ausnahme einiger Tage und Stunden mehrere Monate anhält. Dieſe Erſcheinung fällt zu beiden Seiten des Aequators in entgegengeſetzte Zeiten des Jahres. Sie fängt an der Nordſeite des Aequators deſto früher an, je geringer die Breite des Ortes iſt, und rückt daher von Süden nach Norden fort; auch dauert ſie deſto länger, je früher ſie vor dem höchſten Sonnenſtande eintrat.

Die Regenzeit beginnt an der Küſte von Guinea im April oder Mai, tiefer im Lande im Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal im Juni oder Juli. Nach Rußegger's handſchriftlichen Mittheilungen theilen ſich im Inneren Afrika's die Trocken- und Regenzeit gleichmäßig in das ganze Jahr, und jede derſelben umfaßt nahe 6 Monate. Die Regenzeit, ſüdlich vom Aequator, iſt eine Fortſetzung des ſüdlichen Winters, und umfaßt die Monate October bis April; am Aequator beginnt ſie mit Ende December oder Anfangs Jänner. Im Januar traf ſie Rußegger ſchon in 10° 16′ n. Breite, mit Eintritt Februar im 11° und erſt im Mai im 15° Br., und dauert daſelbſt bis October. Sie erſtreckt ſich nur bis 16° Br. Ueber dieſen Breitegrad hinaus (bis zum 18°) reichen nur Regenſtürme, die aber nicht mehr ſo regelmäßig, ja nicht einmal alljährlich eintreten. Ueber den 18° Breitegrad hinaus hören die periodiſchen Regen ganz auf, und es ſind Regen überhaupt in den Wüſten von Nubien und Oberägypten nur als Seltenheit zu betrachten, und dieſe fallen in die Periode unſeres Winters.

179. Die Länder der gemäßigten Zonen haben vier Jahreszeiten, die bekanntlich durch die Namen Frühling, Sommer, Herbſt und Winter bezeichnet werden. In dieſen Gegenden ſteigt im Sommer die Wärme nicht ſelten ſo hoch als im heißen Erdgürtel, aber dafür ſinkt ſie im Winter tief unter die geringſte Temperatur der heißen Zone. Der Unterſchied zwiſchen der höchſten und niedrigſten Temperatur wächſt in der Regel mit der Breite eines Ortes. Länder, welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keinen rauhen Winter, der die Fluren tödtet, ſondern nur Tage, wie wir ſie im Frühlinge oder Herbſte erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt nur eine ſehr kurze Friſt. So z. B. dauert in Aegypten der heiße Sommer vom April bis November, dann löſet ihn eine wahre Frühlingszeit ab. Nicht minder mild iſt der Winter in Sicilien, Malta, im ſüdlichen Spanien, auf den canariſchen Inſeln, in Südcarolina, Georgien und Louiſiana, am Rio della Plata, auf den Südſeeinſeln u. ſ. f. Je weiter man ſich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, deſto gleichmäßiger theilen ſich die vier Jahreszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbſtes verſchlingt. Es erreicht zwar der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze,

ſo daß Pflanzen vom Keimen bis zur Reife nur etwa 6 Wochen brauchen, die bei uns kaum in drei Monaten eben ſo weit gebracht werden können; dafür iſt dieſe Zeit nur kurz und der ſchnell einbrechende Winter ſo heftig, daß die meiſten Flüſſigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erſtarrt, alle Vegetation erſtirbt, und nur wenige Thiere, ſo wie der überall ausdauernde Menſch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

180. In der kalten Zone zerfällt das ganze Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günſtigeren Verhältniſſen des letzteren Theil, aber weiter davon kann die Sonne ſelbſt bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftſchichten, welche die ſchief einfallenden Lichtſtrahlen durchwandern müſſen, bevor ſie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um ſo mehr, als die meiſte Wärme zum Schmelzen des Eiſes verwendet wird. Ueber 70° nördl. Br. hinaus ſteigt das Thermometer ſelbſt im Sommer ſelten über den Eispunkt und über 79—80° nördl. Br. ſchmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

181. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieſe Verſchiedenheiten in der verſchiedenen Einwirkung des Sonnenlichtes ihren Grund haben. Die Oberfläche der Erde wird durch die Sonnenſtrahlen unmittelbar erwärmt, indem ſie dieſelben abſorbirt, und dieſe Erwärmung muß natürlich bei gleichen Umſtänden deſto größer ausfallen, je länger die Einwirkung der Sonne anhält, je dichter und je weniger ſchief ihre Strahlen auffallen. Der Luft wird aber dieſe Wärme auf verſchiedene Arten mitgetheilt. Erſtens verſchluckt ſie einen, wenn auch nur geringen Theil der einfallenden Sonnenſtrahlen, und erwärmt ſich dadurch; zweitens ſtrahlt die erwärmte Erde ihre Wärme gegen die Luft aus, und theilt ihr dadurch eine höhere Temperatur mit; endlich drittens erhalten die der Erde zunächſt liegenden Luftſchichten auch von der Erde unmittelbar Wärme. Alle dieſe Umſtände machen, daß, wenn die Erwärmung der Erde durch die Sonne nicht gar zu raſch und zu heftig vor ſich geht, die Temperatur der Erde jener der nächſten Luftſchichten mehr gleich iſt. Hieraus erſieht man zugleich, daß die Größe und der Gang der Erwärmung nicht allein von der Kraft der Sonnenſtrahlen, ſondern auch von der Beſchaffenheit der Körper abhänge, welche von denſelben getroffen werden. Da überdieß die Wärme ihrer Natur nach von dem wärmeren Körper übergeht, und ſelbſt Luftſtröme die Temperatur eines Ortes in einen anderen übertragen; ſo iſt erſichtlich, daß die Wärmeverhältniſſe außer der geogr. Breite auch noch davon abhängen müſſen, ob ein Erdſtrich feſtes Land oder mit Waſſer bedeckt iſt, von welcher Beſchaffenheit der Boden, und nach welcher Richtung er vorzugsweiſe ausgedehnt, ob ſeine Atmoſphäre ruhig oder von Winden oft heimgeſucht iſt, endlich in welcher Höhe über der Meeresfläche er ſich befindet.

182. Das Waſſer entwickelt aus den auffallenden Sonnenſtrahlen weniger Wärme als der Boden des feſten Landes, und er-

wärmt ſich darum auch langſamer als der Continent. Dafür erkaltet es auch wieder langſamer, weil es wenig Wärme ausſtrahlt, und weil die oberen erkalteten Schichten zu Boden ſinken und durch tiefer liegende, wärmere erſetzt werden. Beim Ocean kommt noch dazu, daß ſo große Waſſermaſſen von ungleicher Temperatur ſtets mit einander communiciren und ſich beſtändig auszugleichen ſuchen. Demnach wird das Seeklima, womit auch jenes der Inſeln und der Küſtenländer dem Weſen nach übereinſtimmt, minder warme Sommer und gemäßigtere Winter haben, als das Continentalklima, deſſen Extreme viel weiter von einander abſtehen, und das mit Recht exceſſives Klima genannt werden kann. Wegen der großen Gleichförmigkeit der Waſſeroberfläche und dem Mangel an Erhöhungen folgen die Wärmeverhältniſſe zur See überhaupt mehr der geogr. Breite, als am feſten Lande.

183. Das feſte Land erwärmt ſich wegen ſeiner Athermanſie, Dichte und dem Mangel an Verſchiebbarkeit ſeiner Theile in der Regel ſtärker und ungleichförmiger, erkaltet aber auch ſchneller und mehr als Waſſer. Aus dieſem Grunde haben große Continente einen größeren Wechſel der Wärme, als kleinere Inſeln und Küſtenländer, wie ſich dieſes beſonders in dem größten der Feſtlande, Aſien, deutlich zeigt, deſſen Inneres bei gleicher Breite eine größere Sommerhitze, aber auch eine größere Winterkälte hat, als Europa. Daß Länder, welche von Meerbuſen und Binnenmeeren vielfach zerſchnitten ſind, wie z. B. Italien, Griechenland, Indien ꝛc., mehr den Charakter eines See- als den eines Continentalklima's haben; jene hingegen, welche vom Meere faſt geradlinig begrenzt werden, wie z. B. Afrika, Nordaſien, Neuholland, vorzugsweiſe dem Continentalklima anheimfallen müſſen, iſt für ſich klar.

Aus dem Vorhergehenden begreift man leicht, warum das von ſo vielen Meerbuſen durchſchnittene, von zwei Binnenmeeren eingefaßte, weſtliche Europa ein milderes Klima hat, als Aſien. So liegen z. B. Amſterdam und Warſchau, ferner Koppenhagen und Kaſan nahe in demſelben Polarkreiſe, und haben doch ſo verſchiedene mittlere Wärmegrade; noch auffallender iſt die Differenz zwiſchen der größten Sommerhitze und Winterkälte. So hat Pecking einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kaſan hat während eines Theiles des Frühlings und Sommers dieſelbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt, und deſſen mittlere Temperatur um 9° tiefer iſt, als jene von Paris. Von Orleans und Paris bis London, Dublin, Edinburg und Franecker nimmt die mittlere Jahrestemperatur nur ſehr wenig ab, ungeachtet Breitendifferenzen von 4—6° Statt finden; aber im öſtlichen Europa ſinkt die mittlere Temperatur zwiſchen 45—55° Br. ſchon bei einer Breitendifferenz von 1° um 0°.62 C. Während die mittlere Wärme des Feſtlandes in der Aequatorialzone 27°.7 beträgt, iſt jene des Meeres ebendaſelbſt 25° 5. Das Meer erreicht dort ſelten 28°, und nie ſah man die Meerestemperatur über 30°6, die Luft über dem Meere hat nur ſelten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages ſogar 52°.5 an, und den weißen Granitſand an den Waſſerfällen des Orinoco fand Humboldt 60°.3 heiß, während die Luft 29°.6 hatte. Monate lang iſt die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°.5—35°, über dem tropiſchen

Meere 23 — 27°; in Madras, Pondicheri, Oberägypten ſteigt die Wärme der Luft auf 40 — 46°.8 C.

184. Von großem Einfluſſe auf den Wärmezuſtand eines Landes iſt auch die Richtung der größeren Ausdehnung desſelben. Länder der gemäßigten Zone erlangen ſehr günſtige Wärmeverhältniſſe, wenn ſie ſich bis in den heißen Erdgürtel hinein erſtrecken, erleiden aber eine bedeutende Wärmeverminderung, wenn ſie bis zu den Polargegenden hinaufreichen. In jenem Falle wirken nämlich die in dem heißen Klima aufſteigenden, gegen die gemäßigte Zone hinſtrömenden Luftmaſſen erwärmend auf die letztere ein, in dieſem ſetzen kalte Luftſtröme die Temperatur der gemäßigten Zone mächtig herab. Hierin liegt ein Hauptgrund der beſonders günſtigen Wärmeverhältniſſe Europa's, der viel geringeren Temperatur Nordaſiens und Nordamerika's, und der größeren Kälte in der ſüdlichen Halbkugel.

Nur 1/6 des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf feſtes Land, und von dieſem kommen auf Afrika 0.461, auf Amerika 0.301, auf Aſien 0.114 und auf Auſtralien 0.124; es fällt daher der größere Theil des tropiſchen Continents in die Länder der alten Welt, und gerade Europa befindet ſich in jenem Theile desſelben, der ſich in der heißen Zone am meiſten ausbreitet. Aſien und Amerika erſtrecken ſich weiter ins Eismeer hinein als Europa, und innerhalb der Meridiane, die ſie begrenzen, nimmt die See den größten Theil der heißen Zone ein. Die Länder der ſüdlichen Halbkugel laufen gegen Süd, faſt ohne Ausnahme, in Spitzen aus, und haben darum ein Klima von der Natur des Seeklima's mit einem keineswegs heißen Sommer und einem mäßigen Winter.

185. Der Zuſtand des Bodens hat auf das Klima keinen geringeren Einfluß als die Geſtalt und Ausdehnung des Landes. Trockener, nackter, beſonders ſandiger Boden erhitzt ſich ſehr ſtark und verliert keine Wärme durch Verdünſtung. Cultivirter, mit Pflanzen beſetzter, beſonders waldreicher Boden iſt immer kühler als pflanzenleeres Land, weil durch den Vegetationsprozeß viele Wärme gebunden wird, die Sonnenſtrahlen den Boden nicht erreichen können, und die Wärmeausſtrahlung von einer größeren Fläche erfolgt. Stagnirendes Waſſer, Seen, Sümpfe und Moräſte, ſo wie große Flüſſe, mäßigen durch ihr geringes Erwärmungsvermögen die Sommerhitze, und begegnen, wenn ſie tief ſind, auch der Winterkälte; nur in großen Breiten hemmen ſie den frühzeitigen Eintritt der Frühlingswärme. Die ungeheure Sahara iſt aus dieſen Gründen ſo heiß (50° — 60°) und ſendet uns darum ſo mächtig wirkende Luftſtröme zu; darum iſt das Klima von Oſtflorida und im ſüdlichen, waldigen Negerlande Afrika's, ungeachtet der Nähe des Aequators, ſo anmuthig; darum bringt die Ausrottung der Wälder in heißen Gegenden ſo großen Nachtheil. Amerika's Wälder haben einen großen Einfluß auf die vorzugsweiſe große Luftfeuchtigkeit und die gemäßigte Wärme ſelbſt des tropiſchen Theiles dieſes Landes.

186. Länder, welche von kalten Winden häufig heimgeſucht werden, ſind kühler als jene, die durch Gebirge dagegen geſchützt ſind.

Wo häufige Gewitter Statt finden, wird auch die Luft häufig abgekühlt und die Hitze gemildert. Europa verdankt ſeine klimatiſchen Vorzüge vor Ländern von gleicher Breite und Höhe mitunter gewiß auch den Uralgebirgen, welche die kalten Nordoſtwinde abhalten, und den von den heißen afrikaniſchen Sandwüſten herbeigeführten Luftſtrömen. Einen großen Einfluß auf die Temperatur eines Landes haben auch die aus fernen Gegenden dahin gelangenden Meeresſtrömungen. Norwegen ſcheint dem Golphſtrome größtentheils ſein gemäßigtes Klima zu verdanken.

187. Es liegt in der Natur der Lufterwärmung, daß die Temperatur der Luft nach oben abnehmen muß. Die Luft kann nämlich deſto weniger Licht abſorbiren und ſich dadurch erwärmen, je dünner ſie iſt; die von der Erde ausſtrahlende Wärme wird die oberen Schichten weniger treffen und von ihnen weniger aufgenommen werden, die Mittheilung von der Erde aus wirket auf die oberen Luftſchichten gar nicht, und auch die von der Berührung der unteren und oberen Luftſchichten unter ſich herrührende Erwärmung muß immer geringer werden, je weiter aufwärts es geht; endlich fällt die reichlichſte Quelle der Erwärmung, welche von den aufſteigenden warmen Luftſtrömen herrührt, in den oberen Regionen dürftig aus, weil ſich die Luft beim Aufſteigen in denſelben zu ſehr ausdehnt und ſchon deßhalb bedeutend erkaltet. Es wäre wichtig, das Geſetz zu kennen, nach welchem die Temperatur gegen oben abnimmt, bis jetzt iſt man aber noch zu keinem ganz ſicheren Reſultate gelangt (171). Berge wirken auch noch dadurch auf das Klima eines Landes, daß ſie den Sonnenſtrahlen ſehr mannigfaltig geneigte Flächen darbieten, ſich gegenſeitig beſchatten und Nachts wegen ihrer beſonders großen Oberfläche viel Wärme ausſtrahlen. Je höher ein Ort über der Meeresfläche liegt, deſto geringer iſt ſeine Temperatur; doch herrſcht auf Gebirgsebenen ein milderes Klima als in gleicher Höhe auf iſolirten Bergen. Man kann beim Beſteigen eines hohen Berges mehrere Klimate über einander antreffen. Wenn man ſich von Rio de Guayaquil aus gegen den Gipfel des Chimboraſſo erhebt, ſo findet man in einem engen Erdraume alle Klimate ſchichtenweiſe über einander gelagert, und ſieht die Natur auf einer Tagreiſe ſich raſcher verändern, als wenn man tauſend Meilen vom Aequator nordwärts reiſete. A. v. Humboldt traf auf dem Rücken der Anden in einer Höhe von 5060 W. F. über der Meeresfläche das Klima von Algier, bei 8540 F. Höhe das Klima von Florenz an. Man wird offenbar überall, wo ſich hinreichend hohe Berge oder Landſchaften befinden, eine Höhe erreichen, in welcher der Schnee nicht mehr wegſchmilzt. Man nennt ſie die mittlere Schneegrenze. Dieſe Höhe iſt deſto bedeutender, je geringer die Breite eines Ortes iſt, in der Nähe der Pole iſt ſie = 0, ſo, daß dort ſchon an der Meeresfläche alles von ewigem Eiſe ſtarrt, übrigens aber ſehr von Localitäten abhängig. Die Linie, welche die mittleren Schneegrenzen verbindet, iſt nicht etwa diejenige, wo die Temperatur im Durchſchnitte = 0° C. iſt. Am Chimboraſſo iſt die jährliche Durchſchnitts-Luft-

wärme an der Schneegrenze — 1°.5, am St. Gotthard — 3°.7, in den Alpen — 4°.5, in der kalten Zone — 6°. Die Schneegrenze folgt überhaupt mehr der Linie einer gleichen Sommerhitze, und hängt nicht ſo ſehr von der mittleren jährlichen Temperatur, ſondern von jener des Sommers ab, und wird häufig durch Localumſtände, wie z. B. durch die Ausdehnung der betreffenden Höhe, durch die Temperatur der Umgebung, den Feuchtigkeitsgrad der Luft während des Winters, durch die bei eintretendem Sommer vorhandene Schneemenge und durch die Zahl der heiteren und trüben Tage der wärmeren Jahreszeit beſtimmt.

Folgendes ſind die Höhen in P. F.. um die man, nach Beobachtungen an den beigeſetzten Orten ſteigen muß, damit die Temperatur um 1° C. ſinke. H bedeutet Humboldt, GL Gay-Luſſac, R Ramond, D Dalton, S Sauſſure.

Coffre de Perotte H . .	569.6	Quito H	750
Silla de Carracas H . .	591.2	Mexico H	774
Fuerta de la Cuchilla H .	569.6	Popayan H	780
Guadaloupe H	598 7	Bogota H	786
Pic v. Teneriffa H . . .	571.7	Paris GL	533.5
Nevado de Toluca H . .	613.4	Aetna S	547
Pichincha H	622.3	Alpen R.	538
Chimboraſſo H	629.0	England D.	408

Hieraus ſieht man, daß die Wärme auf Plateau's langſamer abnimmt, als in tieferen Gegenden. Nach d'Aubuiſſon iſt die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge, für die einzelnen Monate in Metern, wie folgt: Jänner 221, Febr. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, Auguſt 149, Sept. 164, Oct. 241, Nov. 201, Dec. 246; im Mittel 203 M. = 624 P. F. Sauſſure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verſchiedenen Stunden: Mittags 148, 2 Uhr 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 161.3 M. = 496 P. F. Bei Gay-Luſſac's berühmter Luftfahrt ſtand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°.75 in 5002 M. Höhe auf 5°.25, in 5675 M. Höhe auf 0°.5, in 5632 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf — 9°.5 Es ſcheint demnach die Wärme näher an der Erdoberfläche langſamer abzunehmen, als in größeren Höhen, in großen Höhen hingegen ſich in arithmetiſcher Progreſſion zu vermindern.

Folgende Tafel gibt die Grenzen des ewigen Schnees nach den neueſten und beſten Beſtimmungen an:

Name.	Breite des Ortes.	Untere Schnee-grenze in Toiſen.	Wärme des ganzen Jahres.	Wärme des Sommers.
Cordilleras v. Quito .	1° bis 1½° S	2460	27°.7	28°.7
» » Bolivia	16 » 17¾ S	2670		
» » Mexico	19 » 19¼ N	2350	25.4	27.5
Himalaya nördl. Abhang	30¾ » 31 N	2600	22	28
» ſüdl. »		1950		
Kaukaſus	42½ » 43 N	1700		
Pyrenäen	42½ » 43 N	1400	15.2	23 8
Alpen	45¾ » 46 N	1370	13 2	22.6
Karpathen	49 » 49¼ N	1330	9.2	20
Altai	49 » 51 N	1000		
Norwegen, inneres .	61 » 62 N	850	4.2	16.3
» » .	67 » 67¼ N	600		
» » .	70 » 70¼ N	550	—3.0	11.2
» Küſten .	71¼ » 71½ N	366	0.2	6.3

188. Das wichtigſte der thermiſchen Verhältniſſe wird durch die mittlere Temperatur und durch die täglichen und jährlichen Wärmeextreme beſtimmt. Die mittlere Temperatur eines Tages iſt eigentlich das arithmetiſche Mittel der Temperaturen aller Zeitabſchnitte, aus denen ein Tag beſteht. Weil ſich aber die Wärme während einer Stunde nicht gar ſchnell ändert, ſo iſt es hinreichend, wenn man zur Beſtimmung der mittleren Tageswärme die Temperatur der Luft an einem Thermometer, das gegen die Sonnenſtrahlen, gegen Wind und Regen und gegen die ſtrahlende Wärme wohl geſchützt iſt, von Stunde zu Stunde beobachtet. Beobachtungen dieſer Art, lange genug fortgeſetzt, führen zur Kenntniß beſtimmter Regeln, nach denen man aus einer ſehr geringen Anzahl zu beſtimmten Stunden angeſtellter Beobachtungen die mittlere Tageswärme erhält. Humboldt hat aus mehreren in den Tropenländern und zu Paris angeſtellten Beobachtungen abgenommen, daß die Temperatur bei Sonnenuntergang der mittleren Tageswärme nahe gleich komme; allein Kämtz findet aus den zu Padua und zu Leith angeſtellten Beobachtungen, daß die ſo gefundene Temperatur von dem wahren Mittel zu ſtark abweiche, als daß man ſie in allen Fällen als brauchbar anſehen könnte. Näher ſtimmt ein anderes von Humboldt empfohlenes Verfahren mit der Wahrheit überein, nach welchem durch das arithmetiſche Mittel aus der höchſten und niedrigſten Temperatur die beabſichtigte Temperatur erhalten wird, und wenn auch nach Kämtz und Carlini ſelbſt dieſe Regel nur ein beiläufig richtiges Reſultat gibt, ſo kann ſie doch durch eine Correction zum wahren Mittel der täglichen Temperatur führen.

Fände die mittlere Temperatur ſelbſt täglich zu derſelben Stunde Statt, ſo wäre es wohl am zweckmäßigſten, gerade zu dieſer Stunde zu beobachten und man erhielte auf einmal das erwünſchte Reſultat, und dürfte auch die Stunde nicht mit aller Strenge einhalten, weil ſich zu dieſer Zeit die Wärme nur langſam ändert; allein das tägliche Mittel

tritt nicht immer und allerwärts zu derſelben Zeit ein. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angeſtellten, ſtündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestemperatur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um $11^1/_4$ Stunden von einander abſtehen. Nach Brewſter gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Reſultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr früh und um 2 und 9 Uhr Abends, wie dieſes nach den Beſtimmungen der Mannheimer meteorologiſchen Societät zu geſchehen hatte, ſo erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel

$$t = \frac{VII + II + 2IX}{4},$$

wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwiſchen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Obſervatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, ſo iſt die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben:

$$t = \frac{7VIII + 7III + 10X}{24}.$$

Jener Regel gemäß ſollte auch das Mittel aus 2 um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen ſich dazu beſonders gut 4 Uhr Morgens und Abends, und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieſer Regel vorgenommenen Proben zeigte ſie ſich faſt immer bis auf 0°.1 C. genau. (Kämtz in Schweigg. J. 48. 1. *Humboldt sur les lign. isoth. p.* 491 u. f.)

189. Das arithmetiſche Mittel aus allen mittleren Tagestemperaturen eines Jahres gibt die mittlere Jahrestemperatur. Dieſe fällt nach Humboldt nahe mit der mittleren Temperatur des Monats April und October, oder nach Kämtz noch näher mit dem Mittel aus den Temperaturen dieſer zwei Monate zuſammen, und iſt ſehr nahe eine beſtändige Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daſelbſt angeſtellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Reſultate gefunden:

Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Chriſtiania:	3. Mai,	14. »	Rom:	1. Mai,	24. »
Upſala:	22. April,	18. »	Capſtadt:	19. April,	21. »
Fort Sullivan:	26. »	26. »	Fort Johnſton:	21. »	18. »
Mancheſter:	27. »	23. »	Abusheher:	23. »	22. »
Turin:	18. »	26. »			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage anſehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

190. Die tägliche Zunahme der Wärme erfolgt nahe nach demſelben Geſetze, wie die Abnahme derſelben, und es findet demnach in gleichen Abſtänden von dem Zeitpunkte der größten und kleinſten Wärme

derſelbe Wärmegrad Statt; doch fällt die größte tägliche Wärme in verſchiedenen Orten auf verſchiedene Stunden des Tages, und ſelbſt in demſelben Orte trifft ſie nicht zu jeder Jahreszeit zu derſelben Stunde ein. In der Regel herrſcht die kleinſte Tageswärme kurz (etwa 20 M.) vor Sonnenaufgang, und wächſt von da bis zwiſchen 1—3 Uhr Nachmittags, wo die höchſte Tagestemperatur eintritt. Der Unterſchied zwiſchen der höchſten und niedrigſten Tagestemperatur wächſt in der nördlichen Halbkugel vom Winter zum Sommer, iſt aber ſelbſt in derſelben Jahreszeit an verſchiedenen Orten ſehr verſchieden, und zwar deſto größer, je trockener die Luft iſt. Die Urſache der Ungleichheit dieſer Wärmeextreme in verſchiedenen Jahreszeiten liegt in der verſchiedenen Dauer des Tages gegen die Nacht und in der größeren oder kleineren Sonnenhöhe; der Grund, warum dieſe Extreme in feuchten Orten einander näher ſind, als in trockenen, iſt darin zu ſuchen, daß in erſteren die durch Erkaltung zerſetzten Dünſte die Luft undurchſichtig machen, und die fernere Wärmeausſtrahlung verhindern.

Aus den zu Leith in Schottland durch zwei volle Jahre ſtündlich angeſtellten Thermometerbeobachtungen ergibt ſich, daß daſelbſt die Zeit der geringſten Temperatur im Mittel auf 5^h früh, die der höchſten hingegen auf 2^h 40′ Nachmittags fällt, daß die Wärme ſchneller zu-, als abnimmt, daß ſie ſich im Sommer regelmäßiger ändert als in den anderen Jahreszeiten Nach Carlini tritt zu Mailand das Maximum der täglichen Wärme im Sommer um 3^h 23′, im Winter um 1^h 21′ N. M., das Minimum hingegen im Sommer um 4^h 4′, im Winter um 5^h 58′ früh ein. In Rio Janeiro iſt die Temperatur Vormittags zwiſchen 7—10^h am höchſten, ſpäter führt der täglich eintretende Seewind eine erwünſchte Abkühlung herbei, und ſtört demnach das allgemeine Geſetz. Die Curve, welche man erhält, wenn man die Stunden des Tages als Abſciſſen, die in denſelben Statt findenden Temperaturen als Ordinaten betrachtet, beſteht aus paraboliſch gekrümmten Stücken. (Kämtz in Schweigg. Journ. 47. 385.)

191. Der jährliche Gang der Wärme hat mit dem täglichen viele Aehnlichkeit. Nach Kämtz nimmt die Wärme in mittleren und höheren nördlichen Breiten vom Januar bis Juli mehr oder weniger ſchnell zu, und ſinkt vom Juli bis Januar. Hier hat alſo die Curve des jährlichen Ganges der Wärme ein Maximum und ein Minimum. Zwiſchen den Wendekreiſen ſteigt die Temperatur in der nördlichen heißen Zone vom Januar bis April oder Mai, und ſinkt von da bis zum Juni oder Juli; ſie ſteigt aber wieder von dieſem Monate bis zum September, und vermindert ſich von da an wieder bis zum Januar. Die Curve der jährlichen Bewegung der Wärme hat alſo hier zwei Maxima und zwei Minima. Selbſt in der gemäßigten Zone ſteigt aber die Wärme vom kälteſten Tage an nicht ohne Unterbrechung bis zum wärmſten, und nimmt auch nicht ununterbrochen vom wärmſten bis zum kälteſten ab, ſondern der Uebergang von einem Extreme zum anderen erfolgt mit mehreren Schwankungen. Dieſes hat vorzüglich Brandes ſchön nachgewieſen. Er hat nämlich für Orte von ſehr verſchiedener Breite aus vieljährigen Beobachtungen die mittlere Wärme von je fünf Tagen jedes einzelnen Jahres geſucht und daraus folgende Geſetze des Ganges

der Wärme abgeleitet: Die größte Kälte fällt faſt überall in die erſten Tage des Jänners, und vermindert ſich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desſelben Monats, wo eine neue Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieſer Zeit, alſo in der zweiten Hälfte des Februars, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den öſtlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich iſt, als in den weſtlichen und ſüdlichen. Brandes zeigt, daß ſie durch einen Luftſtrom erzeugt werde, der aus dem aſiatiſchen Eismeere oder dem nordöſtlichen Rußland kommt, und durch die erwärmende Wirkung der zu dieſer Zeit in dieſen Gegenden gerade aufgehenden Sonne hervorgebracht werden ſoll. Nachdem dieſe vorüber iſt, fängt die Temperatur allmälig zu ſteigen an, und wächſt mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Dieſe tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den ſüdlichen ein, weil auch dort die Tage ſchneller wachſen als hier. Von dem Zeitpunkte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab, und zwar in den ſüdlichen Gegenden langſamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des Auguſts wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun beſonders in den nördlicheren Gegenden eine ſchnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Octobers, wo mit dem bekannten Nachſommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachſommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Unterſuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1—26.) Die jährlichen Wärmeextreme wachſen mit der geogr. Breite der betreffenden Orte.

Für Wien haben 60jährige Beobachtungen die mittlere Temperatur jedes der zwölf Monate eines Jahres ſo kennen gelehrt, wie folgt:

Jänner	— 1°.407	Juli	17.221
Februar	0.676	Auguſt	16.873
März	3.910	September	13.294
April	8.824	October	8.539
Mai	13.400	November	3.713
Juni	15.768	December	0.461

Jährlicher Durchſchnitt 8°.459.

Die Temperaturen von April und October kommen dem jährlichen Mittel am nächſten. — In Cumana (10° 27′ nördl. Br.) iſt die Temperatur des heißeſten Monats im Durchſchnitte 29.1 C., die des kälteſten = 26.2, mithin die Differenz beider = 2°.9. In Deutſchland hat man (am 31. Dec. 1783 und am 31. Jänner 1784) — 31°.2 C. beobachtet, und in Wien ſtieg (an der Sternwarte am 8. Juli 1819) das Thermometer auf 36°.9 C. Nach Gieſecke (Scholz Phyſik. 4. Aufl. S. 542) war die niedrigſte innerhalb 7 Jahren auf Grönland beobachtete Temp. — 42°.5 C., die höchſte aber + 31°.25. In Petersburg hatte man (1772) eine Winterkälte von — 38°.8 C. und (1788) eine Sommerhitze von 33°.4. Selbſt in Abo beobachtete Leche eine Temperatur von 34°.2. In Paris beobachtete man (6. Febr. 1665) — 21°.2 und (am 28. Juli 1793) eine

Hitze von 38°.4 C. Capitän *Parry* fand im Jahre 1819 in der Davisſtraße und Baffinsbai im Juli die höchſte Temperatur = 7°.7 C., die geringſte — 3°.3, auf der Inſel Melville (Breite 74¼°) im Auguſt die größte Wärme 17°.2, die kleinſte — 5°.5. In Spitzbergen (Breite 79°) ſoll in den Wintermonaten die Temperatur faſt immer zwiſchen — 35° und — 37° C. ſchwanken und im Sommer nur ſelten über 4°.5 C. ſteigen. Im Winter bilden ſich in dieſen Gegenden die ungeheuren Eisfelder, welche die Polarmeere bedecken und oft einige hundert Meilen im Umfange haben, wohl auch die ſogenannten Eisberge, die oft mit ungeheurem Getöſe ſtückweiſe ins Meer ſtürzen, fortſchwimmen, und beſonders, wenn ſie die Sonne brüchig gemacht hat, den Schiffen große Gefahr bringen. (Gilb. Ann. 62. 1.) Nach *Bouvard* tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die größte Winterkälte am 14. Jänner, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solſtitium. Die vom wärmſten Monat Juli gleich weit abſtehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°.48 und 6°.78), und der 5. März hat genau dieſelbe Temperatur wie der 24. November. Nach *Kämtz* fällt die höchſte und geringſte Temperatur des Jahres in nachſtehenden Orten auf die ihnen beigeſetzten Tage:

Enontekis:	20. Jän.,	26. Juli.	Padua:	15. Jän.,	26. Juli.
Chriſtiania:	17. »	20. »	Rom:	17. »	1. Aug.
Upſala:	16. »	21. »	Capſtadt:	2. Febr.,	6. Juli.
Fort Sullivan:	24. »	29. »	Fort Johnſton:	18. Jän.,	21. »
Mancheſter:	12. »	27. »	Abusheher:	12. »	18. »
Turin:	3. »	27. »			

Im Mittel fällt demnach der kälteſte Tag auf den 14. Jänner, der wärmſte auf den 26. Juli.

192. Die Vertheilung der Wärme auf der Erde wird am beſten erſichtlich, wenn man die Orte von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, welche man *iſothermiſche* Linien nennt. Fig. 375 ſtellt dieſe Linien für die nördliche Halbkugel dar. Man entnimmt daraus folgende Geſetze: Die der höchſten Temperatur entſprechende Iſotherme iſt die des Aequators. Sie entſpricht an den Küſten der größeren Continente 27°.74; im Inneren großer Länder iſt die Wärme etwas größer, mitten im Ocean etwas kleiner. Die Iſotherme von 25° verläßt die Weſtküſte Amerika's nördlich von Acapulco, geht durch Cuba, tritt, nachdem ſie etwas nach Süden hinabgeſtiegen iſt, nördlich von den Inſeln des grünen Vorgebirges in Afrika ein, hebt ſich an der Weſtküſte Afrika's nach Norden, und ſchneidet die aſiatiſche Oſtküſte weſtlich von der Inſel Luſſon. Die Iſotherme von 20° geht durch Californien, ſchneidet die Weſtküſte Europa's zwiſchen Madeira und den canariſchen Inſeln, läuft zwiſchen Creta und der Küſte Aegyptens fort, und verläßt Aſien in der chineſiſchen Provinz Tſche-kiang. Die Iſotherme von 15° geht durch Neu-Calefornien gegen die Azoren, und erreicht Europa an der Grenze von Spanien und Portugal, zieht ſich dann durch den römiſchen Staat, geht durch das caſpiſche Meer, ſenkt ſich hierauf nach Süden und erreicht Aſiens Oſtküſte in der Inſel Niphon. Die Iſotherme von 10° geht von der Weſtküſte Amerika's in New-Albion nach Neu-York, hebt ſich da nördlich und erreicht ihre größte Breite bei London, lauft von da bei Frankfurt und Wien

vorbei gegen Aſtrachan, und erreicht in der Wüſte Schamo ihren ſüdlichſten Scheitel. Die Iſotherme von 5° verläßt Amerika bei Halifax, erreicht Drontheim in Norwegen, und ſenkt ſich dann gegen Riga und Moskau, hat bei Kiachta ihren ſüdlichſten Scheitel und tritt im ſüdlichen Theil von Kamtſchatka in den großen Ocean ein. Die Iſotherme von 0° ſenkt ſich im amerikaniſchen Continente ſtark nach Süden, ſteigt aber beim Austritte aus demſelben nördlich von Neu-Foundland gegen Island bis zum nördlichen Theile von Norwegen, worauf ſie aber ſchnell abwärts geht und im aſiatiſchen Continente die Oſtküſte am nördlichen Theile von Kamtſchatka zu erreichen ſcheint. Die Geſtalt dieſer Linien zeigt deutlich das Daſeyn zweier Punkte der Erdoberfläche (Kältepole) an, wo die Temperatur im Verhältniſſe zur geogr. Breite am geringſten iſt. Einer derſelben liegt nördlich vom amerikaniſchen, der andere nördlich vom aſiatiſchen Feſtlande. Da die Temperatur von unten nach oben eben ſo abnimmt, wie vom Aequator gegen die Pole, ſo wird ſelbſt am Aequator jeder Höhe eine mittlere Temperatur entſprechen müſſen, wie ſie in einer beſtimmten Breite vorkommt. Fig. 376 zeigt die Iſothermen dieſer Art.

193. Von der mittleren Temperatur, beſonders von jener der einzelnen Jahreszeiten, hängt insbeſondere bei ſonſt günſtiger Beſchaffenheit des Bodens, der Zuſtand der Vegetation ab, ſo daß man häufig von dieſem Zuſtande auf die Temperatur einen Schluß zu machen im Stande iſt. Paris und London haben faſt dieſelbe mittlere Temperatur (Paris 10°.6, London 10°.2), und doch kommen um Paris viele Gewächſe ſehr gut fort, die um London nicht gedeihen. Ein Land, welches das ganze Jahr hindurch 10° C. Wärme hätte, würde nur wenige Pflanzen zur Reife bringen, während bei derſelben mittleren Temperatur und einer mittleren Sommerwärme von 21°, und einer mittleren Winterkälte von —3°, wie dieſes in Wien der Fall iſt, eine ſehr üppige Vegetation herrſchen kann.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine beſtimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur, und kommt daher nur dort fort, wo dieſe herrſcht. So z. B. fordert die Weintraube eine mittlere Temperatur von 8°.7, die Kaſtanie 9°.3, die Olive 13°.1, die Pomeranze 17°, die Kaffeebohne 18°.1, der Zucker 23°.7. Auf der Reiſe von Rio de Guayaquil nach dem Chimboraſſo trifft man an der Fläche der Südſee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Piſangs; Affen, Jaguare und bunte Papageien haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P. Fuß gedeihen die tropiſchen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 F. finden in kalten beſtändigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern ſparſame Nahrung, aber auch dieſe hören auf, wenn man ſich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachſen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamiſche Gewächſe den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außen wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Weſen beſuchen. Ueber dieſe Höhe hinaus, ſtarrt die Natur vom ewigen Eiſe. (*Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tubingen* 1807.)

Einen ähnlichen Wechſel der Vegetation bemerkte Buch (deſſen Reiſe nach Norwegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°.25 — 46°.5, und in Norwegen unter einer Breite von von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.	In P. F. Höhe.	Für Norwegen.	In P. F. Höhe.
Weinbaugrenze . . .	2432	Grenze der Fichten . .	730
Nußbaumgrenze . .	3564	» » Birken . .	1483
Kirſchbaumgrenze . .	4164	» » Heidelbeeren	1980
Buchengrenze . . .	4815	» » salix myrsinit.	2019
Alpenroſe	6840	» » Zwergbirken	2576
Schneegrenze . . .	8540	Schneegrenze	3300

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechſel der Vegetabilien und des Klima's in fünf Regionen ein: 1) In die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier ſteht das Thermometer im Mittel auf + 2° C., unten wächſt noch Gerſte, oben nur mit Noth 2) Kieferregion, welche ſich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erſtreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1,8 C., es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartoffeln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 Fuß unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1.4 C.; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier ſchmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachſen nur Zwergbirken und salix myrsinites; die mittlere Wärme iſt 1° C. 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegſchmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachſen, und die kein Lappe mit ſeinem Zelte überſchreitet. (*Wahlenberg flora Lapponica. Berol.* 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

194. Alle bisher angeführten Umſtände zuſammengenommen, beſtimmen nach dem jetzigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe, die klimatiſchen Verhältniſſe und den Gang der Wärme an jeder Stelle. Was bis jetzt die Erfahrung über den Wärmezuſtand der Erdoberfläche gelehrt hat, beſteht im Allgemeinen darin: Unſer Klima hat ſich ſeit den älteſten Zeiten nicht verſchlimmert und die Winter ſind nicht ſtrenger geworden. Dieſes läßt ſich aus dem Gefrieren der Flüſſe und Meere, worüber wir vom grauen Alterthume Nachrichten haben, abnehmen. In keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geſchütztes, 5—8 Schuh über dem Boden erhöhtes Thermometer 46° C., und im offenen Meere ſteigt es nur auf 31° C; die größte, ganz ſichere, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur iſt 30° C., die größte beobachtete Kälte — 56°.2 C. Das Meerwaſſer hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° C. Die ſüdliche Halbkugel iſt bedeutend kälter als die nördliche. In dieſer iſt unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49° — 60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen ſchon einzelne Polareismaſſen zum Vorſchein, das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat ſchon ewigen Schnee. In der nördlichen Halbkugel erſtreckt ſich das Polareis 9° vom Pole, in der ſüdlichen 18° — 20°, hie und da ſelbſt 30°. Schwimmende Eismaſſen hat man in beiden Erdhälften 40°, manchmal 41° — 42° vom Pole angetroffen. Die Schneegrenze fällt unter dem Aequator in eine

Höhe von 2460 Toiſen über die Meeresfläche, in den Pyrenäen 1400, in den Alpen 1370 Toiſen. In der Breite von Spitzbergen ſcheint ſie in die Meeresfläche einzuſchneiden. Europa und Afrika ſind die verhältnißmäßig wärmſten Erdtheile, Amerika der kälteſte. In Europa wird bis zu 67° 20′ Breite Ackerbau getrieben, in Aſien hört der Ackerbau unter 60° Br. auf, in Amerika kann ſelbſt unter 51° Br. nicht mehr mit Vortheil geſäet werden. Zur weiteren Beurtheilung der Vertheilung der Wärme und zu weiteren Belegen für die bisher aufgeſtellten Beobachtungen dienen die folgenden Tafeln, wovon die erſtere die Abnahme der mittleren Temperatur bei wachſender Breite in der nördlichen Halbkugel, die zweite die mittlere Temperatur des heißeſten und kälteſten Monats der nördlichen und ſüdlichen Halbkugel, die dritte endlich die mittlere Jahrestemperatur, ſo wie die Temperatur des heißeſten und kälteſten Monats für mehrere Orte angibt.

I.

Nördliche Breite.	Abnahme der mittleren Temperatur.	
	Alte Welt.	Neue Welt.
0°— 20°	2° C.	2° C.
20 — 30	4	6
30 — 40	4	7
40 — 50	7	9
50 — 60	5.7	7.9

II.

Breite.	Mittlere Temperatur.			
	Nördliche Halbkugel.		Südliche Halbkugel.	
0° — 15°	Juni	28.5 C.	Decemb.	28.0 C.
18	October	26.5	April	26.5
22 — 26	Jänner	19.3	Juli	22.5
34 —	Decemb.	15.4	Juni	13.8
43 —	Juli	17.0	Jänner	16.8
48 —	Juni	18.2	Decemb.	15.2
58 —	Juli	13.5	Jänner	6.2

III.

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des	
			Sommers.	Winters.
Cumana	10° 27′	27° 7	27.8	26.8
Colcutta	22 35	26.27	28.36	21.15
Macao	23 8	23.97	29.15	17.55
Havana	23 10	25.6	28.8	21.1
Cairo	30 3	22.19	29.46	14.53

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Mittl. Temperatur des Winters.
Algier	36°, 48′	21.°28	26.71	16.54
Palermo	38 7	16.77	22.02	11.31
Liſſabon	38 43	16.34	21.65	11.42
Cincinati	39 6	12.12	22.82	0.52
Peking	39 54	12.7	28.1	— 3.1
Philadelphia	39 56	11.9	23.3	0.1
New-York	40 40	21.1	26.2	— 1.2
Rom	41 54	15.48	24.08	8.34
Marſeille	43 18	12.27	22.74	7.35
Bordeaux	44 50	13.6	21.6	5.6
Turin	45 4	11.68	21.72	1.33
Padua	45 24	13.95	23.14	1.70
Mailand	45 28	13.2	22.8	2.4
Quebek	46 48	5.6	20.1	— 7.9
Nantes	47 13	12.6	20.3	4.7
Ofen	47 29	10.53	21.18	— 0.41
Wien	48 12	10.85	20.68	— 0.03
Paris	48 50	10.81	18.01	3.59
Karlsruhe	48 59	9.97	18.74	1.51
Mannheim	49 29	10.30	19.55	1.50
Würzburg	49 46	10.41	20.04	0.71
Trier	49 48	9.90	18.11	1.47
Prag	50 5	9.70	20.5	— 0.30
Frankfurt am Main .	50 7	9.83	18.27	1.42
Brüſſel	50 50	11.0	19 0	2.6
Erfurt	50 59	9.08	16.47	— 0.48
Dünkirchen	51 2	10.3	17.8	3.6
Breslau	51 6	7.88	17.25	— 1.02
Düſſeldorf	51 15	10.64	17.38	2.77
London	51 31	9.83	16.75	3.22
Göttingen	51 32	8.30	18.20	— 0.90
Haag	52 5	11.13	18.63	3.46
Warſchau	52 14	9.2	20.6	— 1.8
Amſterdam	52 22	10.9	18.8	2.7
Berlin	52 31	8.5	17.6	— 0.7
Lüneburg	53 15	9.04	17.25	0.95
Dublin	53 21	9.56	15.34	4.00
Mancheſter	53 30	8.70	14 81	2.81
Hamburg	53 33	8.90	18.96	0.40
Danzig	54 20	7.68	16.36	— 0.77
Königsberg	54 42	6.49	15.87	— 3.26
Copenhagen	55 41	7.69	17.17	— 0.92
Moskau	55 47	3.26	16.90	—10.50
Edinburg	55 58	8.37	14.07	3.47
Stockholm	59 21	5.64	16.30	— 3.67
Upſala	59 52	5.36	15.79	— 4.02
Chriſtiania	59 55	5.33	15.78	— 3.66
St. Petersburg . . .	59 56	3.8	16.7	— 8.3

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des	
			Sommers.	Winters.
Drontheim	63° 26′	4.°48	16.33	— 4.78
Umeo	63 50	1.90	14.19	—10.46
Uleo	65 0	0.66	14.34	—11.15
Winter-Inſel	66 12	—12.5	2.03	—29.03
Nordcap	71 10	0.07	6 38	— 4.63
Melville-Inſel . . .	74 45	—18.5	3.14	—33.33

195. Sowohl die täglichen als die jährlichen Variationen der Wärme ſind ſchon bei der oberſten Erdſchichte geringer als bei der Luft, nehmen aber gegen das Innere der Erde zu immer mehr ab, und verlieren ſich endlich ganz. Schon in einer Tiefe von $1^1/_2$—3 F. verſchwinden die täglichen, in einer Tiefe von 30—60 F. aber auch die jährlichen Wärmeveränderungen, und über letztere Grenze hinaus herrſcht Jahr aus Jahr ein dieſelbe Temperatur. Nach Quetelet nimmt der Unterſchied zwiſchen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur in der Erde in geometriſcher Progreſſion ab, wenn die Tiefe im arithmetiſchen Verhältniſſe wächſt, und während, z. B. im mittleren und nördlichen Europa dieſe Differenz in der Tiefe von 8.6 Meter 1° C. beträgt, beläuft ſie ſich in einer Tiefe von 15.3 M. nur auf 0°.1, in 22.4 M. Tiefe gar nur auf 0°.01, und kann als verſchwindend klein angeſehen werden. In der Erdſchichte, wo es noch Variationen der Wärme gibt, tritt ſowohl das Maximum als das Minimum lange nach der größten oder kleinſten Luftwärme ein, ja in Tiefen von etwa 24 F. fällt die Zeit des Maximum der Erdwärme nahe auf jene des Minimum der Lufttemperatur. (Quetelet in Pogg. Ann. 38. 531.) Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche ſtimmt mit jener der Luft in Orten von mittlerer Breite nahe überein, und wird da, wo nicht chemiſche Prozeſſe eine Ausnahme begründen, durch die Temperatur der Quellen angezeigt. In größeren Breiten iſt die mittlere Wärme des Bodens (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht anſehen, daß die Bodenwärme vom Aequator gegen die Pole deſto raſcher abnimmt, je mehr man ſich dem Parallelkreiſe von 45° nähert, höher hinauf aber einen langſameren Gang befolgt. Die Urſache dieſer merkwürdigen und für die Oekonomie der Natur ſo wichtigen Thatſache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in ſolche Tiefe vorzugsweiſe nur durch das eindringende atm. Waſſer gebracht wird. Da aber dieſes nur in mittlerer Breite das ganze Jahr hindurch in die Erde eindringt, während der Boden in kälteren Klimaten nur für das Sommerwaſſer offen iſt, in wärmeren hingegen nur in der kälteren Zeit Regen fällt, ſo kann nun in erſterem die Quellenwärme mit der mittleren Luftwärme übereinſtimmen, und muß in größeren Breiten höher, in kleineren aber geringer ſeyn als die der

Luft. Die Linien gleicher Luftwärme ſind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verſchieden, und beide ſtimmen nur darin mit einander überein, daß ſie nicht mit dem Aequator parallel laufen. Uebrigens hängen letztere ſo gut von der geographiſchen Länge ab, wie erſtere. (Humboldt in Gilb. Ann. 24. 46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15. 159.) Folgende Tafel zeigt den Unterſchied zwiſchen der Boden- und Lufttemperatur:

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Congo	9 °S	18.2	20.5	450 M
Cumana	10¼ N	20.4	27.7	0
St. Jago (Cap verdiſchen Inſeln)	15 N	19.6	20.0	0
Rockfort (Jamaica) . .	18	20.9	21.6	0
Havana	23	18.8	20.5	0
Nepaul	28	18.6	20.0	0 (?)
Teneriffa	28½	14.4	17.3	0
Cairo	30	18.0	18.0	0
Cincinati	49	9.9	9.7	160
Philadelphia	40	10.2	9.9	0
Carmeaux	43	10.4	11.5	300 (?)
Genf	46	8.9	7.7	350
Wien	48	8.5	8.5	136
Paris	49	9.2	8.7	75
Berlin	52½	8.1	6.4	40
Dublin	53	7.7	7.6	0
Kendal	54	7.0	6.3	0
Keswick	54½	7.4	7.1	0
Königsberg	54½	6.5	5.0	0
Edinburg	56	7.0	7.0	0
Carlscrona	56¼	6.8	6.8	0
Upſala	60	5.2	4.5	0
Umeo	64	2.3	0.6	0
Giwarten-fiäll	66	1.0	— 3.0	500
Enontekis	66	1.2	— 4.9	
Radſoe	—	2.2	— 3.5	

Nach Rudberg's Beobachtungen iſt die Temperatur der Erdrinde zu Stockholm wenigſtens bis zu 3 F. Tiefe von der Tiefe unabhängig, und zur Zeit beider Aequinoctionen in verſchiedenen Tiefen dieſelbe. (Pogg. Ann. 33. 251.)

196. Die Wärmeverhältniſſe im Inneren der Erde ſind verſchieden, je nachdem ſie ſich auf das Weltmeer oder auf den feſten Theil der Erde beziehen. Die Natur eines ſo beweglichen Körpers, wie das Waſſer iſt, wo die ſchwereren Theile fortwährend zu Boden ſinken, bringt es mit ſich, daß deſſen Temperatur von außen nach innen abnimmt. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) erfolgt dieſe Abnahme ziemlich raſch, wird aber nach einwärts immer langſamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo dieſes Statt findet, ſcheint mit dem Zu-

nehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; ſie beträgt bei 41°—32° Breite 200—300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigſte Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Unterſuchung erſtreckte ſich auf 1000 T. Tiefe. Anders verhält es ſich mit der Temperatur im feſten Theile der Erdrinde. Wäre die Temperatur der Erde bloß von der Einwirkung der Sonne abhängig, ſo müßte ſie gegen innen ſehr raſch abnehmen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Temperatur der Erde gegen den Mittelpunkt zu wächſt. Man hat dieſes aus Beobachtungen abgenommen, die man in natürlichen oder künſtlichen Höhlen (Schachten oder Bohrlöchern) an Stellen machte, wo der Einfluß der äußeren Luft nur klein ſeyn konnte, und jede Erwärmung durch Menſchen und Lichter möglichſt gemieden wurde, oder an waſſerreichen arteſiſchen Brunnen. Ueber das Geſetz dieſer Zunahme der Wärme hat man noch nichts Sicheres ausmitteln können. Die waſſerreichen arteſiſchen Brunnen um Wien geben in einer Tiefe von 80 F. eine Zunahme der Temperatur von 1° R., und eben dieſes lehren im Durchſchnitte die in England, Frankreich, Deutſchland und Rußland vorgenommenen Meſſungen derſelben Art. Es iſt nicht leicht, dieſe Zunahme der Wärme in der Erde anders zu erklären, als durch die Annahme, die Erde habe in ihrem Innern noch einen bedeutenden Reſt ihrer urſprünglichen Wärme; doch iſt gewiß, daß ſich die Temperatur der ganzen Erde ſeit 2000 Jahren nicht um $^1/_{10}$° vermindert habe, denn eine ſolche Veränderung der Erdwärme wäre mit einer Volumveränderung verbunden, die ſich durch ihren Einfluß auf die tägliche Umdrehungszeit der Erde deutlich kund hätte geben müſſen, und der den Beobachtern gewiß nicht entgangen wäre. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; *Ann. de Chim.* 13. 283. Arago in ſeinen *Annuaire pour l'an* 1834. *p.* 171. Pogg. Ann. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109. Die Wärmelehre des Innern unſeres Erdkörpers ꝛc. von Dr. G. Biſchof. Leipzig 1837.) Ueber dieſes Kapitel iſt als Hauptquelle anzuſehen: *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes*, und: *Considérations sur le temp. et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. Par M. de Humboldt* in deſſen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris* 1831.

Viertes Kapitel.

Luftſtrömungen.

197. Jede im Verhältniſſe zur Erdoberfläche fortſchreitende Bewegung der Luft heißt Wind. Die zugleich mit der Erde Statt findende Axendrehung der Atmoſphäre macht daher keinen Wind, wohl aber muß jede Aenderung der Ausdehnſamkeit der Luft einen ſolchen erzeugen. Lüftchen, Sturm, Orcan ſind nur dem Grade nach verſchiedene Winde. Die verſchiedenen Winde unterſcheiden ſich von einander vorzüglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geſchwindigkeit abhängt.

198. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläſt. Stimmt dieſe nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, ſo ſetzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zuſammen, zwiſchen welche ſeine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerſt. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläſt, die mitten zwiſchen Nord und Weſt liegt, den Namen Nordweſtwind (nicht Weſtnordwind), jener, deſſen Richtung mitten zwiſchen Süd und Oſt liegt, Südoſtwind (nicht Oſtſüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwiſchen Nordoſt, Südoſt, Südweſt, Nordweſt und einer Hauptweltgegend liegt, bekommen den Namen aus dieſer und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordoſt-, Oſtnordoſt-, Oſtſüdoſt-, Südſüdoſt-, Südſüdweſt-, Weſtſüdweſt-, Weſtnordweſt-, Nordnordweſtwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freiſtehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäſte, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der ſchiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger iſt ſtets an der Windſeite am kälteſten.

199. Die **Stärke** (Geſchwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelſt eigener Inſtrumente, die **Anemometer** heißen, und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein beſtimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verſchiebung einer beſtimmten Laſt oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen ſich durch Rechnung die Geſchwindigkeit finden läßt. **Wollaſtons** Differenzialbarometer dürfte auch ein hierzu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrſcht nämlich an einem Orte der Luftdruck p, an einem anderen der Druck g, ſo geht nach **Schmidt** aus dieſem Unterſchiede des Druckes ein Wind von der Geſchwindigkeit $v = \frac{p-g}{2} \cdot 1215$ P. F. hervor. Die Größen p und g mißt man aber am leichteſten mittelſt des letztgenannten Inſtrumentes. (Theorie und Gebrauch des hydrometriſchen Flügels von **Woltmann**. Hamburg 1790. **Schmidt's** Windmeſſer in Pogg. Ann. 14. 59.) Mäßige Winde haben in unſeren Gegenden eine Geſchwindigkeit von 12—15 F., bei einer Geſchwindigkeit von 32 Fuß gehören ſie ſchon zu den Stürmen. Man will aber ſchon Stürme von 120 F. Geſchwindigkeit beobachtet haben.

200. Alle Bewegungen der Luft werden zunächſt durch eine Aenderung ihrer Ausdehnſamkeit hervorgebracht, und dieſe Ausdehnſamkeit wird höchſt wahrſcheinlich in der Atmoſphäre faſt immer durch die Temperatur geändert. Tritt nämlich an einer Stelle der Luft eine Temperaturerhöhung ein, ſo wird daſelbſt die Ausdehnſamkeit geſteigert, es erfolgt eine Luftverdünnung, und in Folge dieſer ein Aufſteigen der Luft, welches wieder ein Zuſtrömen von den Seiten nothwen-

dig macht. Die aufſteigende Luft muß zur Herſtellung des Gleichgewichtes oben wieder ſeitwärts abfließen, und ſomit hat eine Erwärmung eine dreifache Luftbewegung zur Folge, ein Aufſteigen, ein Zuſtrömen zur erwärmten Stelle in der unteren und ein Wegſtrömen von derſelben in der oberen Region. Etwas ähnliches bewirkt eine Verminderung der Temperatur. Die Sonne erzeugt vermöge ihrer erwärmenden Kraft unabläßig ſolche Strömungen, und es ſind jene Stellen der Erde, welche die größte Erwärmung erleiden, als die Mittelpunkte der Luftſtrömungen anzuſehen. Dieſe Stellen rücken natürlich wegen der Axendrehung der Erde in einem Parallelkreiſe um die Erde herum, und es muß die Richtung der Strömungen durch die Axendrehung modificirt werden. So z. B. muß die aufſteigende Luft, da ſie nicht die der größeren Höhe entſprechende größere Umdrehungsgeſchwindigkeit hat, ſchief von Oſt gegen Weſt aufſteigen, und der von Nord oder Süd kommende Strom muß, wenn er von einer größeren geographiſchen Breite in eine kleinere kommt, eine nordöſtliche oder ſüdöſtliche Richtung annehmen.

201. Die größte, als ſolche das ganze Jahr hindurch anhaltende Erwärmung der Erde findet bekanntlich in der heißen Zone, und zwar vorzugsweiſe in jenem Parallelkreiſe Statt, welcher die ſenkrechten Strahlen der Sonne empfängt. Daſelbſt muß daher das vorerwähnte Aufſteigen der Luft und ein Zuſtrömen von allen Seiten eintreten. Die aus Nord und Süd kommenden Ströme haben eine kleinere Rotationsgeſchwindigkeit, als der Gegend entſpricht, wohin ſie zielen, ſie bleiben darum in der Richtung von Weſt nach Oſt zurück, und erſcheinen demnach als öſtliche Ströme. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith ſteht, und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beſtändiger Oſtwind (Paſſatwind) herrſchen. Da, wo die zwei entgegengeſetzten Ströme gleiche Stärke haben, heben ſie ſich auf, und der Wind erſcheint rein öſtlich; außerhalb dieſer Grenze aber entſteht durch Zuſammenſetzung des Nordſtromes mit dem aus der Aerendrehung der Erde hervorgehenden Oſtſtrome ein N. O., durch Zuſammenſetzung des Südſtromes mit demſelben Oſtwinde ein S. O. Wind. Demnach hat man drei Gürtel. In dem mittleren derſelben herrſcht ein ſchwacher Oſtwind, der oft von Stürmen unterbrochen wird, und dieſe Region heißt die der Calmen. An der Nordſeite dieſer Region iſt die des N. O. Paſſates, an der Südſeite jene des S. O. Paſſates. Behielte die Sonne immer dieſelbe Abweichung, ſo würden dieſe Zonen unverändert bleiben, wegen der Aenderung der Abweichung der Sonne rücken ſie aber insgeſammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder ſüdlichen Wendekreis zugeht. Die mittlere Breite der Region der Calmen iſt nahe 6°, aber im Auguſt wächſt die Breite dieſes Gürtels $9^{0\,3}/_4$, und vermindert ſich im December auf $2^{0\,1}/_4$. Die Breite der Zone zwiſchen dem N. O. und S. O. Paſſate wechſelt in verſchiedenen Jahreszeiten zwiſchen $3^0\,{}^1/_3$ und 8° 5′, und beträgt im Durchſchnitte 5° 52′. Der N. O. Paſſat herrſcht zwiſchen 2° u. 23° n. B., der S. O. Paſſat zwiſchen 2° u. 21° ſ. B.

Demnach liegt der größere Theil der Region der Calmen in der nörd=lichen Halbkugel. Dieſe Windverhältniſſe treten über großen Meeren am reinſten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdar=tige Einflüſſe geſtört wird als auf dem feſten Lande, wo die verſchie=dene Erwärmungsfähigkeit des Bodens das Entſtehen anderer Luft=ſtrömungen begünſtiget. In der That bemerkt man den Paſſat auch am deutlichſten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Oceane zwiſchen Amerika, Aſien und Neuholland, im atlantiſchen und im indiſchen Meere, jedoch mit Modificationen, die von den Ei=genthümlichkeiten dieſer Meere, von der Nähe der Küſten, von der Geſtalt, Erhebung und Richtung derſelben, und ihrer verſchiedenen Erwärmungsfähigkeit herrühren. Dadurch werden die Paſſatwinde auch in die beſtändigen Küſtenwinde umgewandelt. Der an der Weſt=küſte Mexico's herrſchende beſtändige Weſtwind, der an den braſiliani=ſchen Küſten wehende Südwind verdankt denſelben Verhältniſſen ſeinen Urſprung. Dem unteren Paſſatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengeſetzter entſprechen, und demnach nördlich von die=ſer Region ein Südweſtſtrom, ſüdlich davon ein Nordweſtſtrom beſte=hen. Denn es iſt klar, daß, wenn beſtändig die Luft von den Polen gegen den Aequator hinſtrömt, die am Aequator aufſteigende in den oberen Regionen gegen die Pole abfließen müſſe. In der heißen Zone befinden ſich dieſe zwei Ströme, der Aequatorial= und der Polarſtrom, deren jeder eine beſtimmte Richtung hat, über einander, und davon rührt die große Regelmäßigkeit der Windverhältniſſe dieſer Gegenden her. Je weiter der Aequatorialſtrom ſich von ſeinem Urſprunge ent=fernt, deſto mehr kühlt er ſich ab und ſinkt herunter, ſo daß zuletzt beide Ströme neben einander hinfließen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengeſetzten Paſſate liege, iſt nicht ganz ausgemacht. Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Paſſat noch in der Höhe von 1350 Klaftern, auf Teneriffa herrſcht aber ſchon in der Höhe von 1500 Kl. ein Weſtwind.

202. Einige Gegenden gehören immerfort der Region der Paſſat=winde an, wiewohl dieſe Region der Sonne folgt, und ſich daher mit ihr nach N. und S. verſchiebt, in anderen herrſcht der Paſſatwind nur einen Theil des Jahres hindurch, ſo lange nämlich die Sonne, vermöge ihrer Abweichung, dieſe Gegend zur Paſſatregion macht. Da=ſelbſt tritt alſo der Paſſatwind ſchon als ein periodiſch wiederkehrender und ausſetzender Wind auf. Dieſes iſt im atlantiſchen Ocean zwiſchen 24—32° n. Br. der Fall. Solche an beſtimmte Jahreszeiten gebun=dene Winde heißen Mouſſons. Sie herrſchen einen Theil des Jahres hindurch nach einer beſtimmten Richtung, und ſetzen den übri=gen Theil ganz aus oder wehen nach entgegengeſetzter Richtung. Von letzterer Art ſind die in einem großen Theile des indiſchen Meeres, an den Küſtenländern Aſiens und Afrika's herrſchenden Winde. Ihr Grund liegt in der ungleichen Erwärmung der dieſes Meer einſchließenden Länder, welche zur ſelben Zeit gerade entgegengeſetzte Jahreszei=ten haben. Während der nördlichen Abweichung der Sonne haben

wirklich nördlich gelegene Grenzländer die höhere Temperatur, und der Wind weht über das Meer aus Südweſt, während der ſüdlichen Abweichung der Sonne hingegen kommt den ſüdweſtlich gelegenen Ländern die höhere Temperatur zu, und darum herrſcht über dem Meere ein Nordoſtwind. (Dove in Pogg. Ann. 21. 177.)

203. Von derſelben Art, wie die letztgenannten Winde, ſind auch die Land- und Seewinde, nur mit dem Unterſchiede, daß ihre Periode nicht ein Jahr, ſondern nur einen Tag beträgt. An den Küſtenländern blaſet nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feſte Land hin, weil ſich das Land bei Tage eher und ſtärker erhitzt als der Spiegel des Waſſers, Nachts aber auch ſchneller und ſtärker abkühlt. Solche Winde herrſchen nicht bloß an den Küſtengegenden des Meeres, ſondern auch an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Garderſee, am Bodenſee ꝛc.

204. Die zwei entgegengeſetzten Hauptſtröme, welche die Windeverhältniſſe der heißen Zone beſtimmen, ſind auch die Haupturſachen der in den gemäßigten und kalten Erdgürteln herrſchenden Luftbewegungen. Daß dieſelbe im letzteren nicht ſo regelmäßig vor ſich gehen wie im erſteren, ja daß es ſogar in den Augen des im Beobachten Ungeübten den Anſchein haben mag, als wenn in Bezug auf Windesrichtung in der gemäßigten und kalten Zone gar keine beſtimmte Regel gälte, rührt nur von dem Umſtande her, daß hier die zwei Luftſtröme nicht mehr über ſondern neben einander hinfließen, daß jeder derſelben in mehrere Arme getheilt ſeyn kann, und daß ſie durch die Axendrehung der Erde in ihrer Richtung fortwährend modificirt werden, und ſich gegenſeitig zu verdrängen ſuchen. Es wird nämlich durch den Einfluß der Axendrehung der Erde, und zwar vermöge der verſchiedenen Rotationsgeſchwindigkeit der einzelnen Punkte der Erdoberfläche auf der nördlichen Halbkugel der Nordſtrom beim allmäligen Fortrücken gegen den Aequator immer mehr öſtlich, der Südſtrom immer mehr weſtlich, während in der ſüdlichen Himmelsſphäre gerade das Gegentheil Statt findet, d. h. es geht ein Nordwind der nördlichen Halbkugel durch N. O. in O., ein Südwind durch S. W. in W. über, und dieſer wird von neuen Polarſtrömen in N. W. und W. umgewandelt. Da nun der Nordſtrom von einem Südſtrome und dieſer wieder nur durch einen Nordſtrom verdrängt werden kann, ſo muß der Wind im Durchſchnitte in der Richtung S. W. N. O. S. wechſeln, und nicht umgekehrt. In der ſüdlichen Halbkugel erfolgt die Drehung im entgegengeſetzten Sinne. Daß der nördliche Strom, als der kältere, immer zuerſt in den unteren, der ſüdliche, als der wärmere, zuerſt in den oberen Regionen eintreten müſſe, iſt für ſich klar, ſo wie es eine natürliche Folge des vorgenannten Drehungsgeſetzes iſt, daß die Winde der Weſtſeite dem Uebergange des ſüdlichen Stromes in den nördlichen, die der Oſtſeite dem Uebergange des nördlichen in den ſüdlichen begehren.

205. Was nun die Windeverhältniſſe einzelner Orte anbelangt, ſo hat Schouw gezeigt, daß die an jedem Orte herrſchende mitt-

lere Richtung der Winde nahe eine beſtändige Größe ſey. Sie zeigt, daß im nördlichen mittleren Europa die Winde der Weſtſeite über jene der Oſtſeite das Uebergewicht haben, daß aber dieſes Uebergewicht vom atlantiſchen Ocean gegen das Innere des Landes hin abnehme. Nahe am atlantiſchen Meere haben die weſtlichen Winde mehr eine ſüdliche Richtung, gegen das Innere des Landes werden ſie gerade Weſt- oder Nordweſtwinde. Im ſüdlichen Europa haben die nördlichen Winde das Uebergewicht. Im Winter iſt die Windesrichtung meiſt ſüdlicher als durchſchnittlich im übrigen Theile des Jahres, im Frühlinge treten oft Oſtwinde, im Sommer Weſtwinde und im Herbſte Südwinde ein. Daß auch die Tageszeit auf die Windesrichtung einen Einfluß ausüben müſſe, iſt für ſich klar, aber noch nicht näher durch Beobachtungen beſtimmt. Die Stärke der Winde iſt im Winter (Jänner und Februar) am größten; ſie hängt auch von der Tageszeit ab, und ſcheint vom Morgen gegen Mittag zu wachſen und von da wieder abzunehmen.

Man darf nicht vergeſſen, daß das, was man mittlere Windesrichtung nennt, nur eine durch Rechnung gefundene, nicht wirklich vorhandene Größe ſey, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Reſultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet iſt die Einführung dieſer Größe von großem Nutzen. Sie verſinnlichet uns gleichſam das Daſeyn zweier neben einander befindlichen Ströme, deren einer eine nordöſtliche, der andere eine ſüdweſtliche Richtung hat, deren Grenzlinie veränderlich iſt, und bald jenes, bald dieſes Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantiſchen Oceans während des Sommers verſtärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter ſchwächt die weſtliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Weſtwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Oſtwindes mit 270°; ſo iſt die mittlere Windesrichtung in England 60°, Frankreich und Niederlande 88°, Deutſchland 76°, Dänemark 62°, Norwegen 59°, Rußland, Polen und Ungarn 177°. (Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Beiträge zur Climatologie von Schouw 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13. 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257; 55. 135. *Tableau des vents, des marées et des courans etc. par Romer. Paris* 1806.)

206. Die Winde, meiſtens ein Erzeugniß der Temperaturveränderungen, nehmen ſelbſt einen großen Einfluß auf die Temperatur der Luft, ſo daß jedem Winde an einer beſtimmten Stelle der Erde eine beſtimmte mittlere Temperatur entſpricht, und es alſo wirklich eine thermiſche Windroſe gibt. Die mehr nördliche Windesrichtung ſetzt im Sommer die Temperatur herab, die mehr ſüdliche erhöht ſie im Winter, im Frühling und Herbſt iſt dieſer Einfluß von geringerer Bedeutung, doch ſchließt ſich der Frühling an den Sommer, der Herbſt an den Winter an. Die Temperaturunterſchiede der Winde ſind nicht das ganze Jahr gleich, ſondern nehmen von den kälteren zu den wärmeren Monaten hin ab; derſelbe Wind hat auch nicht das ganze Jahr hindurch einerlei thermiſchen Werth, der N. O. ändert ſich in dieſer Beziehung am meiſten, der S. W. am wenigſten. Bei O. S. O. und S. Winden ſteigt das Thermometer, bei S. W. geht es von Stei-

gen in Fallen über, bei W. N. W. und N. Winden fällt es, und bei N. O. geht es vom Fallen in Steigen über. Der kälteſte Wind kommt bei uns durchſchnittlich etwas öſtlich von N., der wärmſte etwas weſtlich von S. Im Winter und Frühling kommt der kälteſte Wind mehr von O., der wärmſte mehr W., im Sommer aber liegt der Ort des kälteſten Windes weſtlich von N., der des wärmſten öſtlich von S. Am merkwürdigſten ſind in Bezug ihres Einfluſſes auf die Temperatur die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in ſüdlichen Ländern zeitweilig herrſchen, und in verſchiedenen Orten verſchiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamſin, Samum und Harmattan. (Kämtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Sirocco heißt in Italien der ermattende, beſonders nervenſchwächende unangenehm afficirende Südwind. Er erſtreckt ſich bis nach Tirol und Steiermark. Chamſin, Samum und Harmattan iſt ein heißer, erſtickender Wind, der in Arabien, Perſien, Syrien, Nubien und Aegypten ꝛc. zeitweilig herrſcht. In letzteren Ländern heißt er Chamſin (arabiſch: fünfzig, weil er fünfzig Tage wehen ſoll). Rußegger, der ihn ſelbſt beobachtete, ſagt, er folge immer auf heitere, windſtille, drückend heiße Tage, beim Eintritte desſelben erheben ſich dichte ſchwarze Wolken, denen bald andere feuerrothe folgen, es verbreitet ſich ein ſtrahles, röthlich gelbes Licht, Thiere und Menſchen verbergen ſich. Bald unterbricht ein dumpfes Raſſeln und Kniſtern die Todtenſtille, die Wolken ſcheinen ſich auf die Erde hinzuſchieben, und in einem Nu iſt man mit Sand und Staub bedeckt. Häufig ſchließt ein Regen und ein heftiges Gewitter dieſes Phänomen. Dieſer Wind weht nur in der Regenzeit, und zwar im Anfange derſelben, und kommt meiſt aus S. O. Der Samum iſt nach dieſem Beobachter ein Wind der Wüſte, er weht zu verſchiedenen Jahreszeiten, aus verſchiedenen Weltgegenden, und iſt nicht periodiſch wie der Chamſin. Er iſt ein gewöhnlicher, über den ſtark erhitzten Boden hinſtreichender, viel Staub und Sand mit ſich führender Sturmwind.

Fünftes Kapitel.

Oſcillationen der Atmoſphäre.

207. Wenn man ein Barometer nur eine kurze Zeit hindurch beobachtet, ſo überzeugt man ſich, daß es beſtändigen Veränderungen unterworfen ſey, und bald in ſchnelleren, bald langſameren, bald größeren, bald kleineren Oſcillationen ſteige und falle. Einige dieſer Veränderungen kommen von den Variationen der Wärme, durch welche das Queckſilber ſpecifiſch ſchwerer und leichter wird; man kann aber den jedesmaligen Barometerſtand durch die I. 181 angegebene Correctionsmethode von dieſem Einfluſſe unabhängig darſtellen, und ſich überzeugen, daß wirklich Aenderungen im Luftdrucke vorgehen. Eine gute Ueberſicht aller innerhalb einer beſtimmten Zeit vorfallenden Barometerveränderungen gewinnt man aus einer graphiſchen Darſtellung derſelben.

208. Die Aenderungen im Barometerſtande ſind weder an allen Orten gleich groß, noch erfolgen ſie gleichzeitig. Die mittlere

Veränderung des Barometerſtandes, d. h. das arithmetiſche Mittel aus der Differenz zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Barometerſtande in jedem Monate des Jahres, richtet ſich nach der Höhe, geographiſchen Breite und Länge des Ortes und nach anderen Localverhältniſſen. Sie wächſt mit der geographiſchen Breite. Doch ſoll ſie in der ſüdlichen Halbkugel bei derſelben Breite größer ſeyn als in der nördlichen. Am Aequator und zwiſchen den Wendekreiſen beträgt die mittlere Barometerveränderung etwa 0.5 L., in der Nähe der Wendekreiſe 4 L., und in der gemäßigten Zone 5—12 L. (In Wien beträgt ſie 9 L.) Sie wächſt in der gemäßigten Zone mit der Höhe, und nimmt in der kalten Zone mit derſelben ab. An der Oſtküſte von Amerika iſt dieſe Veränderung bei gleicher Breite größer als an der Weſtküſte von Europa, und nimmt auch von da gegen das Innere von Europa immer mehr ab, ſo, daß Linien, welche Orte von gleichen Aenderungen des Luftdruckes mit einander verbinden (iſobarometriſche Linien), von der amerikaniſchen Küſte an nach Norden hinaufſteigen, bis ſie das Innere Aſiens erreichen, von wo ſie ſich wieder zu ſenken ſcheinen. Ueber der See ſcheint ſich der Barometerſtand öfter und regelmäßiger zu ändern als in Binnenländern. Uebrigens bleibt für einen und denſelben Ort die mittlere Barometerveränderung von einem Jahre zum anderen nahe gleich. Die höchſten, den einzelnen Monaten entſprechenden Barometerſtände weichen von einander zwei- bis dreimal ſtärker ab als die niedrigſten. (Dove in Pogg. Ann. 24. 205.)

209. Der Luftdruck ändert ſich weder zu allen Zeiten noch an allen Orten gleich ſchnell. In der heißen Zone nimmt derſelbe von den kälteren Monaten nach den wärmeren hin ab, und ſteigt wieder mit abnehmender Wärme; in der gemäßigten Zone iſt er im Jänner am größten, ſinkt bis zum April, erreicht im Sommer ein zweites Maximum und im Herbſte ein zweites Minimum. Der Unterſchied zwiſchen dem größten und kleinſten Werthe des Druckes nimmt mit der Höhe zu. In der kalten Zone zeigt ſich nach Parry's und Scoresby's Beobachtungen im Frühlinge der höchſte, im Sommer der tiefſte Barometerſtand. In der Regel ändert ſich der Barometerſtand im Winter häufiger als im Sommer, am meiſten aber in den Nachtgleichen. Die Größe der Oſcillationen des Barometers in jedem Monate erſieht man aus folgender Tabelle, wo die auf Wien Bezug habenden Reſultate aus einem eilfjährigen Durchſchnitte erhalten ſind.

Monat.	Teneriffa Br. 28° 20′	Rom Br. 41° 53′	Wien Br. 48° 12′	Berlin Br. 52° 31′	Upſala Br. 59° 40′	Umeo Br. 63° 50′
	P. L.					
Jänner	7.033	11 24	11.616	16.48	15.99	16.05
Februar . . .	5.627	10.215	11.566	15.45	15.34	18.42
März	3.345	9.540	9.728	13.90	15.13	16.40
April	4.500	7.960	9.720	11.16	13.40	12.80
Mai	3.150	7.035	7.620	9 48	11.82	14.47
Juni	1.870	4.895	6.912	7.64	9.93	10.74
Juli	2.060	4.225	6.228	7.94	8.29	8.00
Auguſt	2.060	4.075	5.943	7.34	9.81	10.59
September . .	2 250	5.700	8.544	11.28	11.61	14.63
October . . .	3.657	7.610	11.052	11.04	14.29	16.6
November . . .	3.376	8.690	9.384	14.40	16.27	15.62
December . . .	4.220	10.015	10.632	14.22	15.32	18.05
Jährl. Durchſchn.	3.595	7.616	9.097	11.69	13.10	14.36

210. Zwiſchen den Wendekreiſen zeigen ſchon 24ſtündige Barometerbeobachtungen, daß die Oſcillationen des Druckes der Atmoſphäre periodiſch wiederkehren, und daß täglich zwei Maxima und zwei Minima Statt finden. Dieſes mußte wohl auf den Gedanken bringen, es gebe auch außer den Wendekreiſen ſolche regelmäßige Schwankungen des Barometers, aber man erkennt ſie nicht unmittelbar, weil ſie durch andere unregelmäßig eintretende unkenntlich gemacht werden; nur aus einer ſehr großen Anzahl zu derſelben Stunde angeſtellter Barometerbeobachtungen, bei denen ſich die unregelmäßigen Schwankungen des Druckes aufheben, kann man deren Daſeyn auch in dieſer Zone erkennen. Gegenwärtig iſt der Zuſtand unſerer Kenntniſſe in dieſem Fache folgender: Faſt auf der ganzen Erde, vom Aequator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klaftern, erlangt das Barometer täglich zweimal ſeinen höchſten und eben ſo oft ſeinen niedrigſten Stand, und zwar erſteren zwiſchen 8½ und 10½ Uhr früh und zwiſchen 9 und 11 U. Abends, letzteren zwiſchen 3 u. 5 U. Abends und zwiſchen 3 u. 5 U. Morgens; nur in Oſtindien ſollen dieſe Variationen, nach Horsburgh's Beobachtungen, von dieſer Regel abweichen und zur Regenzeit an einigen Orten ganz ausbleiben. Man erkennt dieſe periodiſchen Schwankungen nicht allenthalben gleich leicht. Zwiſchen den Wendekreiſen reicht eine ſehr kurze Zeit hin, in einer Breite von 44° bis 48° braucht man dazu wenigſtens durch 15 bis 20 Tage fortgeſetzte Beobachtungen. In der gemäßigten Zone iſt im Winter die Zeit des vormittägigen und die des nachmittägigen Minimums dem Mittage um 1 — 2 Stunden näher als im Sommer. In der heißen Zone iſt die Zeit des höchſten und niedrigſten Barometerſtandes an der Meeresfläche und auf Gebirgsebenen, die eine Höhe von 1300 — 1400 Klafter haben, dieſelbe; in der gemäßigten Zone iſt dieſes wenigſtens nicht überall der Fall, und es tritt das Maximum in der Höhe früher ein als unten. In der

Nähe des Maximums und Minimums iſt der Barometerſtand völlig ſtationär, und zwar während einer Zeit, die von 15 Minuten bis 2 Stunden wechſelt. Zwiſchen 15° nördlicher und ſüdlicher Breite haben Winde, Erdbeben, und die bedeutendſten Aenderungen der Temperatur und des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft auf die Wiederkehr des Maximums und Minimums keinen Einfluß. Die Größe der täglichen Variationen des Barometerſtandes nimmt gegen die Pole zu ab, wie man aus der nachfolgenden Tafel erſieht, und iſt in der Regel im Sommer größer als in den anderen Jahreszeiten, beſonders im Winter, und wenigſtens in der gemäßigten Zone in der Höhe geringer als in der Tiefe. (Pogg. Ann. 8. 131; 9. 148; 11. 27; 27. 345. Schweigg. J. 46. 438; 47. 137; 51. 169; 59. 129.)

Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.	Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.
Quito . . .	0°	2.82	Marſeille . .	43° 18′	0.72
Guayna . . .	10° 36′	2.44	Straßburg . .	48° 34′	0.80
Jamaika . .	17° 56′	1.45	Paris . . .	48° 50′	0.76
Can. Inſeln .	28° 8′	1.10	London . . .	51° 31′	0.38
Rom	41° 54′	0.70	—	74° 0′	0.10

211. Die *Urſachen* dieſer regelmäßigen Veränderungen des Druckes der Atmoſphäre ſind zweierlei, *dynamiſche* und *phyſiſche*; erſtere haben in der Anziehung der Sonne und des Mondes, letztere in der erwärmenden Kraft der Sonne und im Dunſtgehalte der Luft ihren Grund. Sonne und Mond bewirken nämlich durch ihre anziehende Kraft in der Atmoſphäre eben ſo wie im Meere eine Ebbe und Fluth, die innerhalb jedes Umlaufes dieſer Himmelskörper zweimal eintreten, überdieß ändern ſie durch die im Meere bewirkte Ebbe und Fluth die Baſis der Atmoſphäre und die Geſtalt der Erde, mithin die Kraft, mit welcher letztere auf die Atmoſphäre wirkt. Der Rechnung nach ſind dieſe Wirkungen ſo gering, daß man ſie füglich für unmerklich anſehen kann (Pogg. Ann. 13. 137). Beobachtungen weiſen aber dem Monde einen entſchiedenen Einfluß auf den Luftdruck ein, nur ſcheint es, als fehlte es zur genauen Beſtimmung desſelben noch an einer hinreichenden Anzahl in dieſer Beziehung angeſtellter Beobachtungen. Den größten Einfluß auf das in Rede ſtehende Phänomen hat unſtreitig die phyſiſche Einwirkung der Sonne. Durch die erwärmende Kraft derſelben wird die Expanſivkraft der Luft vermehrt, ein aufſteigender Luftſtrom und ein Abfließen der Luft zu beiden Seiten des Mittelpunktes der Erwärmung erzeugt, und es muß daraus täglich zur Zeit der größten Luftwärme ein Minimum des Druckes, zur Zeit der geringſten Wärme ein Maximum desſelben Statt finden, und das Barometer gleichſam den verkehrten Gang des Thermometers befolgen. Gäbe es demnach keine andere Wirkung der Sonne, ſo könnte täglich nur *ein* Maximum und *ein* Minimum des Luftdruckes Statt finden. Allein, indem die Sonne erwärmend auf die Luft wirkt, befördert ſie auch die Dunſtbildung; durch Zunahme der Dünſte

wird aber der Druck der Atmoſphäre vergrößert, es entſteht ein Maximum des Dunſtdruckes zur Zeit, wo ein Minimum des Luftdruckes Statt findet, und umgekehrt, und durch Zuſammenwirkung dieſer zwei Momente entſtehen täglich zwei Maxima und zwei Minima des Barometerſtandes, indem die von der Dunſtbildung herrührende Wirkung jener von der unmittelbaren Erwärmung der Luft herſtammenden zwar entgegengeſetzt, aber nicht völlig gleich iſt. Die täglichen Veränderungen des Barometers ſind daher der Erfolg der Unterſchiede zweier von einander verſchiedenen Veränderungen, des Druckes der trockenen Luft und jenes der Waſſerdünſte. An Orten, wo eine Gleichheit dieſer zwei Wirkungen eintritt, müſſen die täglichen, regelmäßigen Schwankungen unterbleiben, wie dieſes in einigen Gegenden Oſtindiens der Fall iſt. Daß ſich alles dieſes in der That ſo verhalte, wie hier aus theoretiſchen Gründen wahrſcheinlich gemacht worden iſt, können nur Nachweiſungen aus Beobachtungen darthun, bei denen die Aenderungen des Druckes der trockenen Luft von den Aenderungen der mit Waſſerdünſten gemengten ſcharf geſchieden werden. Dieſes hat Dove zu thun verſucht, und dazu die Beobachtungen, welche Neuber zu Apenrade angeſtellt hat, benützt. Er fand, daß der Druck der trockenen Luft ſowohl als jener der Dünſte täglich nur ein Maximum und ein Minimum habe, daß jener wachſe, wenn dieſer abnimmt, und umgekehrt, und daß der aus beiden hervorgehende Druck der Atmoſphäre in der That täglich zweimal einen größten und eben ſo oft einen kleinſten Werth erlange. Indeß befolgt der Waſſerdunſt nicht überall einen der Wärme ſo gemäßen Gang wie zu Apenrade, wenn ja die Hygrometerbeobachtungen zu Lyon, Paris, Genf ꝛc. denen zu Apenrade gegenübergeſtellt werden können, und obige Anſicht bedarf daher noch einer weiteren Begründung, um ſo mehr, als Snow Harris zeigt, daß die täglichen Schwankungen des Barometers mit der veränderlichen Stärke des Windes im Zuſammenhange ſtehen. (Dove in Pogg. Ann. 22. 219. Flaugergues in Zeitſch. 4. 231. Schweigg. J. 59. 1. Kämtz ebend. 59. 129, 154.)

212. Die Urſachen der unregelmäßigen Veränderungen des Luftdruckes liegen ebenfalls in der Wärme, in dem Waſſergehalte der Luft und in ihrer Bewegung. Letztere kann auf zweifache Weiſe wirken, nämlich unmittelbar, indem bewegte Luft einen kleineren Druck ausübt, als ruhende, und mittelbar, indem dadurch der Wärmezuſtand und der Dunſtgehalt der Luft geändert, und an einer Stelle mehr Luft angehäuft wird, als das Gleichgewicht fordert. Die Wirkung der zwei erſteren Urſachen iſt aus dem Vorhergehenden klar. Durch den Zug hoher Gebirge, durch nahe große Gewäſſer werden die Erfolge der Thätigkeit aller dieſer Urſachen oft ſtark modificirt. Daß Erdbeben, vulcaniſche Ausbrüche und überhaupt electriſche Phänomene das Barometer afficiren können, läßt ſich nicht wohl läugnen; allein man kann ihre Wirkungen, die übrigens nicht ſo häufig eintreten, als als die oben genannten, noch nicht unter beſtimmte Geſetze bringen. Hieraus wird begreiflich, warum der Barometerſtand, bei übrigens

gleichen Umſtänden, ſo eng mit der herrſchenden Witterung, vorzüglich aber mit den Winden, zuſammenhängt. Man kann es als allgemeine Regel anſehen, daß jedem Winde ein beſtimmter Luftdruck entſpreche. Das Maximum des Druckes findet bei NO., das Minimum zwiſchen S. und SW. Statt. In der Regel ſteigt in dem größten Theile von Europa das Barometer bei weſtlichen (W. NW. und N.) und ſinkt bei öſtlichen (O. SO. und S.) Winden. Bei NO. geht es vom Steigen ins Fallen, bei SW. vom Fallen ins Steigen über. Veränderlichkeit der Winde beurkundet ſich durch ſchnelle Schwankungen des Barometers, Stürme verurſachen ein ungewöhnliches Steigen, noch öfter aber ein ungewöhnliches Sinken des Barometers. Dieſes tritt immer an einem Orte am ſtärkſten ein, den man daher als das Centrum des kleinſten Druckes anſehen kann, und von wo aus der Druck nach allen Seiten zunimmt. Dieſes Centrum wechſelt oft ſeinen Platz ſehr ſchnell. Auch den Gewittern pflegen merkliche, ſchnell auf einander folgende Schwankungen vorauszugehen. Ein großer Luftdruck iſt nicht Urſache einer trockenen, ein geringer nicht Urſache einer feuchten Witterung, ſondern beide, ſowohl der Luftdruck als der Charakter der Witterung, ſind durch Luftſtröme bedingt.

Den Einfluß der Richtung der Winde auf den Luftdruck erſieht man am beſten aus folgender Tabelle, welche den mittleren Barometerſtand bei verſchiedenen Winden an den nebenbei angezeigten Orten angibt. Die auf Wien bezüglichen Reſultate ſind aus dreijährigen Beobachtungen erhalten.

	N	NW	W	SW	S	SO	O	NO
Berlin	336.32	335.85	335.13	333.61	333.06	334.55	336.36	336.62
Paris	337.14	336.14	335.20	334.03	333.94	335.37	334.76	337.0
Wien	331.39	331.26	325.81	330.52	330.19	330.25	329.68	330.58

Schübler hat die Barometerſtände in Paris, Stuttgart und Wien für 1826 mit einander verglichen, und vorbenanntes Geſetz beſtätiget gefunden. Das Barometer befolgt an dieſen drei Standpunkten einen ziemlich gleichförmigen Gang. Vom April bis Juli herrſchten an allen drei Orten Weſtwinde, und da war der Druck der Luft in Paris meiſtens am größten und in Wien am kleinſten, während in den übrigen Monaten, wo meiſtens öſtliche Winde wehten, das Gegentheil Statt fand. Brandes hat den Barometerſtand an mehreren Orten für einige Tage des Decembers 1821 und des Februars 1823, wo ungewöhnliche Stürme herrſchten, mit einander verglichen, und den Mittelpunkt des geringſten Luftdruckes und deſſen Bewegung nachgewieſen. Am 24. Dec. um 6 Uhr Abends befand ſich das Centrum des geringſten Druckes an der Küſte von Bretagne, und dehnte ſeine Wirkung, ſtufenweiſe abnehmend, ringsum aus, ſo daß die Linien von gleichem Drucke eine elliptiſche Geſtalt hatten. Am 25. Dec. um 6 Uhr Ab. befand ſich dieſes Centrum zu Dieppe und London, und die Linien von gleichem Drucke waren mehr kreisförmig. Um 10 Uhr desſelben Tages traf man das Centrum des geringſten Druckes in Deutſchland, und um 6 Uhr Abends war es gegen die norwegiſchen Küſten vorgerückt. (Buch in Gilb. Ann. 67. 29 und 437. Schübler in Schweigg. J. 52. 257. Dove in Pogg. Ann. 11. 545. *Brandes de repentinis variationibus in pressione atmos. observatis. Lips.* 1826.)

213. Das arithmetiſche Mittel aus einer großen Anzahl von Barometerhöhen an demſelben Orte gibt den mittleren Luftdruck

daſelbſt, und jenen Stand des Barometers, um welchen die Oſcillationen desſelben erfolgen. Je größer die Anzahl der dazu gebrauchten Barometerhöhen iſt, deſto zuverläßiger fällt das Reſultat aus; es iſt aber auch nicht gleichgültig, an welcher Tageszeit die Barometerhöhe beobachtet wird. Der Barometerſtand zu Mittag ſoll vom täglichen Mittel nur wenig abweichen, eben ſo das Mittel aus dem um 9 U. Ab. und um 10 Uhr früh gefundenen. Am beſten würde man fahren, wenn man des Tags viermal, und zwar zur Zeit der Maxima und Minima beobachten wollte. Auch die Windesrichtung zur Zeit der Beobachtung iſt nicht gleichgültig. Im mittleren Europa entſpricht der mittlere Druck der Windesrichtung von S. 11° W.

214. Wäre die Atmoſphäre vollkommen ruhig, ihre Temperatur und ihr Waſſergehalt allenthalben dieſelbe, ſo könnte man aus theoretiſchen Gründen den mittleren Luftdruck an jedem Orte aus dem an einer beſtimmten Stelle bekannten Drucke durch Rechnung finden; allein die in der Luft ſtets vorhandenen Strömungen, ſo wie die Ungleichheiten der Temperatur machen dieſe Berechnungen aus theoretiſchen Gründen unmöglich, und man bleibt demnach hierin ganz der Erfahrung überlaſſen. Dieſe lehrt, daß der mittlere Luftdruck an der Meeresfläche von der geographiſchen Breite abhänge. Aus Schouws werthvollen Unterſuchungen (Pogg. Ann. 26, 95) ergeben ſich, in Bezug auf den mittleren Barometerſtand an der Meeresfläche in der nördlichen Halbkugel, folgende Geſetze: Vom Aequator bis zu einer Breite von 15° hat der mittlere Luftdruck eine Größe von 337—338‴ Par. M., in der Zone 15°—30° iſt das Mittel des Luftdruckes höher, nämlich 338—339‴, in der Zone von 30°—45° gleich 337.5‴ — 339, zwiſchen der Breite von 45° und dem Polarkreiſe nimmt der mittlere Luftdruck bedeutend ab, und beträgt nur 337.‴5 — 333‴, innerhalb des Polarkreiſes ſcheint der mittlere Luftdruck wieder zu ſteigen. Die Urſache dieſer Verſchiedenheit des mittleren Luftdruckes liegt in dem meteoriſchen Charakter der betreffenden Zonen. In der erſten Zone iſt die Temperatur ſehr hoch, und es treten häufige Wolkenbildungen und Waſſerniederſchläge ein, in der zweiten regnet es faſt nie, der Himmel iſt faſt immer heiter und der Wind weht ununterbrochen, in der dritten herrſchen im Winter trockene Winde, im Sommer Wolken und Waſſerniederſchläge, die der warme SW. Paſſat erzeugt, in der vierten Zone kämpfen ununterbrochen der zurückkehrende, obere Paſſat mit den entgegengeſetzten kalten Winden, woraus häufige Wolkenbildungen und Waſſerniederſchläge erfolgen. Daß ſich dieſer Paſſat nicht bis in die fünfte Zone erſtreckt, ſcheint der Grund des daſelbſt höher werdenden Barometerſtandes zu ſeyn. Nach Erman ändert ſich der mittlere Luftdruck auch mit der geographiſchen Länge. Dieſer Gelehrte fand in den azoriſchen Meridianen ein Maximum, in den kamtſchatkiſchen ein Minimum des Luftdruckes, mithin eine Zunahme desſelben von Kamtſchatka gegen den Meridian der Azoren. (Erman in Pogg. Ann. 13, 121.)

Sechstes Kapitel.

Waſſermeteore.

215. Da die Atmoſphäre beſtändig mit Waſſer oder feuchter Erde in Berührung ſteht, ſo müſſen auch ununterbrochen Dünſte entſtehen. Die Menge der in einer gewiſſen Zeit an einem beſtimmten Orte aus Waſſer entwickelten Dünſte beſtimmt man mittelſt eigener Inſtrumente, die man Atmometer nennt, und die in der Hauptſache aus Gefäßen voll Waſſer beſtehen, an denen man die Menge des durch Verdünſten verſchwundenen Antheils durch das Gewicht oder mittelſt einer Scale beſtimmt, die man aber, um richtige Reſultate zu erhalten, ſo tief in ein großes Waſſer ſenken ſoll, als das Waſſer in ihnen ſteht. Man hat die Größe der Verdünſtung auf dieſe Weiſe an mehreren Orten unterſucht, und gefunden, daß ſie vom Aequator gegen die Pole hin abnehme, daß ſie in demſelben Orte der nördlichen Halbkugel vom December bis Juni zunehme, von da an aber bis December wieder kleiner werde. Folgende Tabelle gibt die Größe der jährlichen Verdünſtung für die darüberſtehenden Breitengrade in W. Zollen an, wie ſie theils durch Verſuche, theils nach einer den Verſuchen entſprechenden Hypotheſe ausgemittelt worden iſt.

Breite	90°	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Verdünſtung	[illegible]	13.1	15.3	19.4	25.7	34.4	44.9	55.5	63.6	66.6

216. Die entſtandenen Dünſte ſuchen ſich nach allen Seiten zu verbreiten, und bilden eine Dunſtatmoſphäre um die Erde. Dieſe würde ſich nach den allgemeinen Geſetzen ausdehnſamer Körper ins Gleichgewicht ſetzen, wenn ihnen nicht unzählige Hinderniſſe im Wege ſtünden. Wiſſenswerth iſt in Bezug auf dieſe Dunſtatmoſphäre der Gehalt an denſelben, oder die Spannkraft der Dünſte und der Feuchtigkeitsgrad (I. 217). Ueber großen Meeren hat die Dunſtatmoſphäre nach Kämtz eine Spannkraft, welche dem Maximum der Dünſte vom Meerwaſſer entſpricht. Von da aus verbreiten ſich die Dünſte ins Innere der Continente mit abnehmender Spannkraft. Nach aufwärts nimmt der Druck der Dunſtatmoſphäre ab. Der Feuchtigkeitsgrad iſt im Allgemeinen über dem Meere in allen Breiten nahe gleich, und der Thaupunkt liegt um 3.°5C. unter der beſtehenden Lufttemperatur. Nach oben nimmt die Feuchtigkeit bei heiterem Wetter ab, bei Nebeln zu, und in der Wolkenregion herrſcht das Maximum der Feuchtigkeit (100°). Die Aenderungen der Dunſtmenge und der Feuchtigkeit während eines Tages geben Beobachtungen in verſchiedenen Orten verſchieden an. Nach den zu Apenrade angeſtellten, welche wohl ihrer großen Anzahl wegen den größten Werth haben dürften, wächſt der Druck der Dunſtatmoſphäre von der kälteſten Tagesſtunde an bis zur wärmſten, und das Maximum desſelben fällt mit jenem der Wärme faſt genau zuſammen; nach Daniell's, zu London, angeſtellten Beobachtungen iſt dieſer Druck in den Frühlingsmonaten des Morgens größer als Nachmittags, die Feuchtigkeit iſt aber bei der kleinſten Tageswärme am größten, bei der größten Temperatur am kleinſten. Eben ſo iſt in

der kälteſten Jahreszeit der Dunſtdruck am kleinſten, in der wärmſten Jahreszeit am größten, aber die größte Trockenheit herrſcht in der Regel im Mai, die größte Feuchtigkeit im December. Winde haben auf den Dunſtgehalt der Atmoſphäre einen gar großen Einfluß, und es ſcheint ſowohl die Dunſtmenge als die Feuchtigkeit bei öſtlichen und nördlichen Winden am kleinſten, bei ſüdlichen am größten zu ſeyn, ſo daß dieſe beiden hygrometriſchen Größen bei einer Drehung des Windes von Nord nach Süd ſowohl auf der Oſtſeite der Windroſe als auf der Weſtſeite derſelben zunehmen. Die Größe der Veränderungen der hygrometriſchen Verhältniſſe iſt ſehr verſchieden. Die täglichen Veränderungen ſind im Winter am kleinſten, und ſcheinen im Frühlinge am größten zu ſeyn und nach oben abzunehmen. (Dove in Pogg. Ann. 16. 285, 293; 22. 219. Kämtz ebend. 30. 43.)

Das im tropiſchen Himmelsſtriche in der Luft enthaltene Waſſer würde die Erde 9 Z. hoch bedecken, und der Dunſtdruck ſoll einem Drucke von 10″ entſprechen; in einer Höhe von 4200 F. enthält ein Volum Luft nur mehr halb ſo viel Dunſt als an der Meeresfläche. Der Feuchtigkeitsgrad über dem Meere beträgt in allen Breiten nahe 81°, und der mittlere Dunſtdruck iſt 7.‴159. Der Dunſtdruck iſt zu London =3.‴69, zu Stuttgart 2.‴818; der mittlere Feuchtigkeitsgrad iſt in erſterem Orte 87.°1, in Paris 59.7. In der aſiatiſchen Steppe Platowskaja fand A. v. Humboldt nach anhaltendem SO. Winde um 1 Uhr N. M. bei einer Lufttemperatur von 23°.7 C. den Thaupunkt = −4°.3 C., mithin nur eine Feuchtigkeit von 17 p. C. Die geſammte in der Luft enthaltene Waſſermenge wird zu 3 Trillionen K. Z. angeſchlagen. (*Edinb. Encyclop. Art. Hygromet.*)

217. Wenn die in der Luft enthaltenen Dünſte einmal das Maximum ihrer Dichte erreicht haben, ſo werden ſie durch die kleinſte Temperaturverminderung in tropfbaren Zuſtand verſetzt. Dieſe Temperaturverminderung kann von dem durch Ausſtrahlen erkalteten Erdboden, durch das Aufſteigen in kältere Luftſchichten oder durch kältere Luftſtröme ꝛc. hervorgebracht werden.

218. Sobald die Dünſte das Maximum ihrer Dichte überſchritten haben, bilden ſie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtſtrahlen ſo häufig eine theilweiſe Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft ſchweben, bis ſie eine gewiſſe Größe erreicht haben, oder in die Nähe hygroſkopiſcher Körper kommen. Sie erhalten ſich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil ſie wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniß zu ihrer Maſſe zu große Oberfläche haben, und daher nur äußerſt langſam ſinken können; 2) weil immer wärmere Luftſtröme aufwärts gehen, und ſo dem Fallen der Waſſertheile entgegenwirken; 3) weil ſie durch die vielen Reflexionen, welche ein Lichtſtrahl erleidet, der die mit ſo vielen Kügelchen geſchwängerte Luft trifft, der Luft die Durchſichtigkeit benehmen, und eben deßhalb bewirken, daß die Luftſchichte, welche ſie enthält, mehr von der Sonne erwärmt wird, als die reine durchſichtige Luft, und daher auch ein geringeres ſpecifiſches Gewicht erlangt, in die Höhe zu ſteigen ſucht, und die

Dunſtkügelchen zu fallen hindert. Vergrößern ſich die Waſſerkügelchen, ſo fallen ſie doch herab, und erzeugen die bekannten, wäſſerigen Lufterſcheinungen, Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

219. Der Thau erſcheint als ein wäſſeriger Beſchlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Ueber ſein Entſtehen verdanken wir Wells die meiſte Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt ſich der Thau nach einem heitern Tage zwar ſchon Abends im beſchatteten Graſe, aber erſt nach Sonnenuntergang entſteht er reichlich und vermehrt ſich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heiteren, windſtillen Nächten am meiſten, eine geringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Ueberzug des Himmels verhindert ſein Entſtehen ganz. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit derſelben gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umſtänden jene Körper, die dem freien Himmel ausgeſetzt ſind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als ſolche, deren Oberfläche glatt iſt. Ueber den letzteren Punkt hat vorzüglich Harvey viele intereſſante Beobachtungen angeſtellt. Zu dieſen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die ſie umgebende Luft, und daß mit dieſem Unterſchiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieſes läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entſtehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausſtrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgeſetzt ſind, eine Verminderung der Temperatur, dieſe entziehen der angrenzenden Luftſchichte die Wärme, und machen, daß ihre Dünſte das Maximum der Expanſivkraft überſchreiten, in tropfbaren Zuſtand übergehen, und ſich ſo an die nahen Körper abſetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgeſetzten Waſſers beſtimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel ausſetzt, und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugergues fand ſo, daß das im Jahre 1823 abgeſetzte Thauwaſſer zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es ſich anſammeln könnte. (*Bibl. univ. avril. An assay on Dew and several appearances connected with it. by W. Wells. London* 1815.) Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunkt ſinkt; ſo friert der Thau, und erſcheint als Reif an Körpern. Man ſieht leicht ein, daß ein Reif entſtehen kann, ſelbſt wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpunkte ſteht. Mehlthau, Honigthau ſind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmoſphäriſcher Niederſchlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man ſich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbſt ſo reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wäſſer und überhaupt in waſſerreichen Gegenden ſo ſtark thaut;

warum Niederungen ſo oft vom Reife heimgeſucht werden, während höhere Gegenden, wohin ſich die warmen und daher leichteren Luftſchichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächſe durch eine geringe Decke, z. B. durch Reiſig, Rauch vor Reif ſchützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verſchwindet ꝛc.

220. Waſſer, das klein zertheilt in der Luft ſchwimmt und ſie trübt, bildet Nebel und Wolken. Beide unterſcheiden ſich von einander nur durch ihre Höhe. Eine Wolke iſt ein hochſchwebender Nebel, oder der Nebel iſt eine auf der Erde aufliegende Wolke; man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man ſich, wenn man einen Berg beſteigt, der in Wolken gehüllt erſcheint; denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an. Die Wolken ſchweben keineswegs ruhig in der Luft, ſondern nehmen an den Bewegungen derſelben Theil, ſchreiten nach verſchiedenen Weltgegenden fort, heben und ſenken ſich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer ſchweben, erkennt man daraus, daß ſie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald ſie dem Auge frei geben. Man meint, nur die feinſten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber, die Regen- und Gewitterwolken ziehen meiſtens ſehr tief, weil ſie dichter und daher ſchwerer ſind als die übrigen, heben ſich aber wieder, wenn ſie einen Theil ihres Waſſers durch Regen, Schnee ꝛc. verloren haben. Im Sommer ſchweben die Wolken höher als im Winter, und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen ſie faſt immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern ſo läſtig ſind. Das Treiben der Wolken geſchieht mit großer Geſchwindigkeit, und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengeſetzt iſt. Die Farbe der Wolken ſteht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken abſorbiren das Licht völlig und erſcheinen daher dunkel, dünnere laſſen es zum Theile durch und reflectiren es zum Theile, ſind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intenſiver beleuchteten Wolken gewähren nicht ſelten ein herrliches Farbenſpiel. Die Ausdehnung der Wolken nach Länge und Breite einzelner Wolken iſt ſehr verſchieden, jedoch erſcheinen uns unter allen die Gewitterwolken am ausgedehnteſten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erſcheint, ſo iſt dieſes die Folge mehrerer ſehr nahe ſtehender Wolken, deren es gewöhnlich ſogar mehrere Schichten über einander gibt. Uebrigens hängt die ſcheinbare Ausdehnung einer Wolke, wie die eines jeden anderen ſichtbaren Gegenſtandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchſten Wolken erſcheinen immer wie Faſern und Streifchen, ſind aber wahrſcheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns ſo nahen Regenwolken; die gegen uns ſchief ſtehenden Wolken erſcheinen lang und ſchmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig ſeyn kann, weil ſie nach ihrer Breite geſehen verjüngt erſcheinen. Die Dicke der Wolken läßt ſich nur bei jenen beſtimmen, die um Berge Gürtel bilden. Peytier und Haſſard fanden ſo

eine Wolke 450—850 Meter dick. Das Anhäufen der Wolken am Horizont zu einer Zeit, wo ſich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optiſchen Täuſchung. Manchmal vergrößert ſich eine Wolke ſehr ſchnell, nicht ſelten vermindert ſich eine eben ſo eilig. Daran mag vielleicht die Electricität einen Antheil haben; indeß ſieht man auch wohl ein, daß ſich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müſſe, wenn ſie durch den Wind in feuchte Luftſchichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken iſt nicht ſelten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausſtrahlende Wärme zurückſenden. Das Verſchwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus begreiflich, daß ſie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufſteigt, oder daß dieſe ihr ſelbſt vom Winde zugeführt wird. Hieraus ſieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerſtreuen können.

221. Ueber die Geſtalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiſte Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter drei Hauptformen und vier abgeleiteten Formen erſcheinen. Die Hauptformen ſind: Die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus). Die abgeleiteten ſind: Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), die federige Schichtwolke (cirro-stratus), die geſchichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (nimbus).

222. Die Federwolke (Fig. 383) beſteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Faſern. Sie iſt nach anhaltend ſchönem Wetter die erſte, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt ſich bei trockener Witterung mehr faſerig, bei feuchter und bevorſtehendem Regen mehr verwaſchen, ſie hat meiſtens eine Höhe von mehr als einer halben Meile, und dürfte wohl nur aus Schneetheilen beſtehen. Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 384) beſteht aus kleinen, weißen, meiſt runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erſcheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage, und können nach anhaltend naſſer Witterung für Vorboten einer beſſeren Zeit angeſehen werden. — Die federige Schichtwolke (Fig. 385) charakteriſirt ſich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Subſtanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Geſtalt. Sie erſcheint in der Höhe als eine große Menge zarter Wölkchen, hat aber, wenn ſie am Horizont ſteht, wo man ihren verticalen Durchſchnitt ſieht, das Anſehen weit ausgedehnter Schichten. Oft überzieht ſie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil desſelben wie mit einem weißen Schleier. Dieſe Wolkenart iſt es auch, welche, wenn ſie am weſtlichen Himmel bei Sonnenuntergang ſteht, und dünn genug iſt, das herrliche Farbenſpiel der Abendröthe gibt,

wenn ſie aber dichter iſt, einen trüben Sonnenuntergang verurſacht, und einem anhaltenden, aber ſanften Landregen vorhergeht. Die Schichtwolke (Fig. 386) iſt eigentlich das, was man Nebel nennt, nämlich eine wie Waſſer ausgedehnte, die Erde berührende Wolke. Sie entſteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht ſtark abſticht. Nach Sonnenuntergang lagert ſie ſich beſonders häufig über tiefe Gewäſſer, verſchwindet manchmal gänzlich, indem ſie wie ein feiner Thau herabfällt, ſteigt nicht ſelten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Ueber den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150 — 200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein ſolcher Nebel, den man Höhenrauch nennt, faſt das ganze Jahr hindurch die meiſten Gegenden Europa's, und ſtand wahrſcheinlich mit den in dieſem Jahre ſo häufigen unterirdiſchen Revolutionen in Verbindung. Die Entſtehung der Schichtwolke läßt ſich nach Davy's Anſicht auf folgende Weiſe erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen iſt, wird der Erde für die ausſtrahlende Wärme, beſonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter iſt, kein Erſatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am feſten Lande beſchränkt ſich dieſe Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erſtreckt ſich doch nur in ſehr geringe Tiefe, im Waſſer hingegen, deſſen Temperatur über 3° R. iſt, ſinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weiſe wieder abgekühlt, nur unter 3° R. iſt die oberſte zugleich die kälteſte Schichte, es erſtreckt ſich daher die Abkühlung auf die ganze Waſſermaſſe. Iſt nun dieſe hinreichend groß, und hat ſie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° R. iſt; ſo muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche größer ſeyn, als die des angrenzenden feſten Landes, und eben daher muß auch die Luft über dem Waſſer wärmer ſeyn als über dem Lande und mehr Dünſte enthalten, zugleich muß aber auch die Landluft beſtändig gegen das Waſſer hinſtrömen, die daſelbſt befindliche Luft abkühlen, und ſo den Nebel erzeugen. Die Menge desſelben muß ſich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Waſſers richten. Dieſe Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüſſen Deutſchlands und Italiens beſtätigt gefunden. Auch der Umſtand iſt dieſer Erklärung günſtig, daß nach Harvey's Erfahrungen (*Journ. of sc. Nr.* 29) die Temperatur einer Nebelſchichte in der Mitte geringer iſt, als oben und unten. Da das feſte Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Waſſerbehältern oder feuchten Stellen wechſelt, ſo iſt wohl begreiflich, wie ſich oft ein Nebel weit über eine Gegend verbreiten kann. Er kann aber auch ſein Entſtehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken. Die Haufenwolke (Fig. 387) zeichnet ſich durch ihre halbkugelförmige Geſtalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie entſteht, wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächſt, die

kleineren, herum befindlichen gleichſam aufnimmt und ſich ſo zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig iſt es, daß dieſe Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entſtehen, bis zur größten Tageshitze wachſen, am Abende wieder verſchwinden und ein reines Firmament zurücklaſſen. Die Urſache dieſer Erſcheinung liegt wahrſcheinlich in der mit der Wärme zunehmenden Menge der Dünſte, die mit der erwärmten Luft aufſteigen, in kältere Regionen kommen, und dort zu Wolken werden. Dieſe ſenken ſich wieder, ſobald das Aufſteigen der wärmeren Luftſtröme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen, und gehen wieder in Dunſt über. Mit dieſer Anſicht ſteht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach oben ſchneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunktes, indem die Lufttemperatur ſchon in einer Höhe von 400—500 F., der Thaupunkt aber erſt in einer Höhe von 700 F. um 1° C. abnimmt. Nicht ſelten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Geſtalt, nimmt nach oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter, und bildet ſo die geſchichtete Haufenwolke (Fig. 388). Wenn ſich bei dem periodiſchen Entſtehen und Verſchwinden der Haufenwolke eine große Neigung derſelben zeigt, in die geſchichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten.

223. Der Uebergang der jetzt beſchriebenen Wolkenarten in die regnende Wolke iſt mit merkwürdigen Erſcheinungen begleitet: Die in niederen Luftſchichten hinſchwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert ſich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken, und verwandelt ſich ſo in eine geſchichtete Haufenwolke, die oben in lockige Faſern ſich endiget, immer dunkler wird, und endlich Regen herabſchüttet.

224. Der Regen iſt eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Waſſertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umſtände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und ſo immer fort Dunſt zerſetzt wird, denn dadurch kommen ſich die einzelnen Waſſertröpfchen näher, und fließen in größere zuſammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechaniſches Hinderniß antreibt. Dadurch entſtehen jene furchtbaren Regengüſſe, die den Gebirgsländern ſo gefährlich ſind, und Wolkenbrüche heißen. Dieſer Wirkung der Winde iſt keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein ſtarker Wind in den unteren Regionen den Regen hindere; denn es iſt hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es ſelten fehlt; der untere hingegen zerſtreut die kleinen, herabfallenden Tropfen, und bewirkt, daß ſie wieder verdünſten, bevor ſie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Uebrigens können wenige Waſſertröpfchen, die ſich nicht mehr in der Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil ſie beim Sinken auf andere treffen und ſich mit ihnen zu einer größeren Maſſe vereinigen.

225. Die Regentropfen ſind in den oberen Regionen ſehr **klein**, vergrößern ſich aber allmälig im Herabfallen durch Waſſer, welches ſie durch ihre Erkältung aus der Luft ausſcheiden. Darum ſind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmeſſer als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher ſtehen. Oft ſollen ſie unter dem Aequator einen Zoll im Durchmeſſer haben, während ſie bei uns ſelten mehr als einige Linien dick ſind. Wegen des Widerſtandes der Luft erlangen ſie keine große Geſchwindigkeit.

226. Die **Regenmenge** iſt nach Zeit und Ort verſchieden. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge deſto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünſtung iſt; ſie iſt daher am Aequator größer als bei uns, und nimmt mit wachſender geographiſcher Breite ab. Höher gelegene Orte ſollen reichlichere Regen haben, als tiefere (Kaſt. Arch. 6. 225), aber in derſelben Verticalen iſt die Regenmenge oben geringer als unten, wahrſcheinlich, weil ſich die kalten Regentropfen beim Fallen durch neuen Waſſerniederſchlag vergrößern. Uebrigens haben auf die jährliche Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftſchichten von verſchiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerſt erreichen, auch mehr regnen als an dem, worüber die Regenwolken erſt ſchweben, wenn ſie ſchon einen Theil ihres Waſſergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meiſtens aus Süd oder Weſt kommen, ſo iſt es begreiflich, daß im ſüdlichen Deutſchland und in Ungarn (dießſeits der Alpen) verhältnißmäßig weniger Regen fällt, als in der Lombardie und überhaupt jenſeits der Alpen. Selbſt die Vertheilung des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten iſt an verſchiedenen Orten verſchieden. In der heißen Zone iſt der ganze in einem Jahre fallende Regen auf die Regenzeit concentrirt, und tritt beim höchſten Sonnenſtande ein, wo die ſtarken aufſteigenden Luftſtröme den größten Zufluß von kälteren Gegenden nothwendig machen. In größeren Breitengraden der tropiſchen Zone, nämlich an den äußerſten Grenzen der Paſſatwinde, erzeugen die herabſinkenden Aequatorialſtröme die Winterregen. Je mehr man ſich von der tropiſchen Zone entfernt, deſto mehr vertheilt ſich der Regen in das ganze Jahr, aber ſelbſt da treten deutlich zwei Regenzeiten hervor, und rücken immer mehr aus einander, je mehr man die Grenzen der Tropen verläßt, bis dieſelben in einer großen Breite wieder in ein Regenmaximum, das in den Sommer fällt, zuſammenfallen. Man mißt die Regenmenge mittelſt eines regelmäßigen, zum Auffangen und Meſſen des Regenwaſſers beſtimmten Gefäßes (**Regenmeſſer, Ombrometer**), worunter das von **Horner** angegebene beſonders ſinnreich iſt. (Schweigg. J. 52. 26.)

Nach **Anderſon** geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19, 14, 12, 11, 5 die Regenmenge unter dem Aequator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90° an; ſie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwaſſer die Erde decken würde, wenn es ſich anſammelte. An der Küſte von Ma-

labar ($11\frac{1}{2}^{\circ}$ n. Br.) fallen jährlich 116 Z., in Havana 85″.4, in Bombay 73″.5, in Macao 63″. Im ſüdlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen, beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z.; am ſüdlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft ſie ſich auf 42 — 43 Z. Am ſüdlichen Abhange der Alpen, in der Ebene der Lombardie und des venetianiſchen Königreiches fallen jährlich 54 — 55 Z., hie und da gar 80 — 90 Z. Waſſer, in der Mitte der Ebene aber nur 36 — 37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna $\frac{1}{2}$, zu Piſa $\frac{1}{4}$, zu Rom $\frac{1}{8}$ vom Herbſtregen, und zu Bologna und Piſa $\frac{1}{2}$, zu Rom nahe $\frac{1}{3}$, zu Palermo $\frac{1}{8}$, zu Liſſabon $\frac{1}{13}$ — $\frac{1}{14}$ des Winterregens. Im gemäßigten Klima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchſchnitte 20 — 30″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Miſſion St. Antonio de Javita am Orinoco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴, und ein anderes Mal gar in 3 St. 14‴, im Bombay während den 12 erſten Tagen der Regenzeit 32″. Genf hat zweimal ſo viel Regen als Paris, Petersburg ſo viel wie Wien. In York fand man, daß ſich die Regenmengen an drei Stationen, deren eine 29 F., die andere 72, 8″, die dritte 231′ $10\frac{1}{2}$″ über dem Spiegel des Sees lag, im Jahre 1832 — 1833 wie die Zahlen 661 : 853 : 1000, im Jahre 1833 — 1834 wie die Zahlen 582 : 772 : 1000 verhalten. In einzelnen Jahren wechſelt die Regenmenge ſehr ſtark. Die mittlere jährliche Regenmenge in Wien beträgt 16 P. Z. Im Jahre 1833 fielen aber nur 13.5 Z., im J. 1834 nur 10 Z., im J. 1835 aber 17.3 Z., im J. 1836 16 Z., im J. 1837 15.9 Z., im J. 1838 endlich 18.7 Z. Regen. Im ſüdlichen Europa fällt das Maximum des Regens auf den Frühling und Herbſt, in Deutſchland auf den Sommer. Nach Kämtz iſt an der Weſtküſte Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben ſo groß, wie in den Sommermonaten; aber je weiter man ins Innere des Continents kommt, deſto vorherrſchender werden die Sommerregen. (Dove in Pogg. Ann. 35. 375.)

227. Das Regenwaſſer iſt beſonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringeren Luftwärme noch keine fremdartigen Subſtanzen mit den Dünſten in die Luft geführt werden; in warmen Sommermonaten hat es viele fremdartigen Subſtanzen beigemiſcht. Subſtanzen, wie z. B. Samenſtaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwiſſenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. ſ. w. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit dem Regnen der Thiere, z. B. der Fröſche, die bei trockener Zeit im Straßenſtaube vergraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden ſeyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwaſſer eine große Aufmerkſamkeit widmete, fand das ſpecifiſche Gewicht desſelben bei 14° R. gleich 1.00010 — 1.00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eiſen, Mangan, Salzſäure, Kohlenſäure und organiſchem Stoffe darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regenwaſſer 2.57 Gran feſten Stoff. (Schweigg. J. 43. 153.)

228. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger ſchweben als andere, ſo befinden ſie ſich doch meiſtens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünſte in tropfbaren Zuſtand über, ſo werden ſie auch

bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen ſie aber in Geſtalt von Flocken herab, und geben den Schnee. Das Regenwaſſer iſt daher meiſtens Schneewaſſer. Thauet der Schnee während des Falles nicht ganz auf, ſondern ſintert nur zuſammen, wie dieſes im Frühling und Herbſt oft geſchieht, ſo entſteht dadurch der Graupenregen. Man erklärt es ſich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen ſchneiet, warum ſich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erſtreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht ſchneiet.

229. Wenn der Schnee nicht ſehr dicht fällt, erkennt man ſchon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen beſteht, die meiſtens ſechseckig ſind; fällt er aber dicht, ſo hängen ſich mehrere ſolche Geſtalten an einander, und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 389 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zuſtande. Der Vermiſchung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee ſeine ſtarke Licht reflectirende Kraft und die blendend weiße Farbe; beigemiſchte, meiſtens vegetabiliſche Subſtanzen färben ihn aber nicht ſelten merklich roth; man fand ihn öfters auch ſchon leuchtend.

Folgende Tabelle gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwaſſer jährlich ſteigen würde, wenn es nicht wieder verdünſtete oder eingeſaugt und zerſetzt würde.

Zu Abo	27,54	P. Zoll.	Zu Mannheim	20,6	P. Zoll.
» Algier	25,32	—	» Maranhao	26,0	—
» Augsburg	35,9	—	» Middelburg	31,8	—
» Bergen	73,0	—	» Padua	37,5	—
» Berlin	19,3	—	» Paris	20,0	—
» Bombay	72—106	—	» Piſa	34,5	—
» Delft	26,1	—	» Plymouth	29,1	—
» Domingo	11,3	—	» Rom	29,3	—
» Dordrecht	38,6	—	» Straßburg	25,9	—
» Edinburgh	21,6	—	» St. Petersburg	16,0	—
» Freiburg	28,4	—	» Stuttgart	23,9	—
» Göttingen	34,7	—	» Tübingen	25,0	—
» Haag	26,6	—	» Ulm	25,5	—
» Harderwyk	26,1	—	» Upmünſter	27,7	—
» Harlem	23,2	—	» Upſala	22,0	—
» Hohenheim	24,6	—	» Utrecht	23,18	—
» Karlsruhe	25,5	—	» Venedig	33,92	—
» Kendal	60,5	—	Wälder des Orinoco und Rio Negro	90—100	—
» Lancaſter	38,5	—	Zu Wien	16,0	—
» Leiden	28,34	—	» Wittenberg	16,0	—
» Lund	17,39	—	» Zürch	32,0	—
» Lyon	37,0	—			
» Madeira	29,1	—			

Siehe Hube über die Ausdünſtung und ihre Wirkungen in der Atmoſphäre. Leipzig 1790. Unterſuchungen über die Wolken und andere Erſcheinungen in der Atmoſphäre von T. Forſter. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von Brandes. Leipzig 1820.

Siebentes Kapitel.

Electrometeore.

230. Sobald man die erſtaunlichen Wirkungen der künſtlich erregten Electricität erkannt hatte, mußte ihre Aehnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmoſphäre freie Electricität walte, und daß die Erſcheinungen eines Gewitters von electriſchen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, dieſe Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Indem man nämlich einen papierenen, mit einem metallenen Stifte verſehenen Drachen aufſteigen ließ, und ihn an einer ſeidenen Schnur hielt, die mit feinem Metalldraht umwunden war, bemerkte man am Ende der Schnur Zeichen von electriſcher Anziehung und Abſtoßung, wohl gar ſtechende Funken, wie aus einer Leidnerflaſche. Heut zu Tage herrſcht über das Daſeyn der Electricität in der Atmoſphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann ſich von ihrem Daſeyn theils mittelſt iſolirter, an hohen Stangen angebrachter Drähte, theils mittelſt eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelſt einer etwa 1—2 Klafter langen Stange überzeugen, deren iſolirtes, mit einem glühenden Schwamme verſehenes Ende mit einem empfindlichen Electroſcope oder mit einem Multiplicator, deſſen ein Drahtende bis zur Erde reicht, in Verbindung ſteht.

231. Man findet bei jeder Witterung Spuren von atmoſphäriſcher Electricität. Die allgemeinen Reſultate, welche ſich aus den Unterſuchungen über die Luftelectricität ergeben haben, ſind folgende: Bei heiterer Luft iſt die Electricität ſtets poſitiv und im Allgemeinen im Winter ſtärker als im Sommer, bei ruhigem Wetter ſtärker als während eines Windes. Ihre Intenſität wächſt von unten nach oben, und ändert ſich mit der Jahres- und Tageszeit. Sie erreicht täglich zweimal ihr Maximum und eben ſo oft ihr Minimum. Nach Schübler fängt ſie mit Sonnenaufgang an zu wachſen, und erreicht einige Stunden darnach ihr erſtes Maximum, von da an nimmt ſie wieder ab, und erlangt 1—2 Stunden vor Sonnenuntergang ein Minimum; ſteigt aber wieder von da an ſchnell, und erreicht einige Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum. Von dieſem Augenblicke an fällt ſie die ganze Nacht hindurch, bis ſie mit aufgehender Sonne abermals zu ſteigen beginnt. Im Sommer tritt das erſte Maximum am früheſten, im Winter am ſpäteſten ein, während das zweite Maximum in Sommertagen am ſpäteſten, in Wintertagen am früheſten Statt hat. Bei ruhiger, heiterer Luft ſind die Variationen der Electricität größer als bei trüber, und überhaupt im Mittel im Sommer faſt doppelt ſo groß als im Winter. Dichte Wolken, Nebel und naßkalte Witterung ſtören überhaupt den regelmäßigen Gang der Electricität völlig. Das aus der Luft fallende Waſſer iſt faſt immer, beſonders im Sommer, electriſch, ſelbſt die in der Nähe von Waſſerfällen in der Luft ſchwebenden Waſſertropfen ſind ſtark poſitiv electriſch. Bei Nordwinden iſt die Luftelectricität am häufigſten poſitiv, bei Südwinden

am häufigſten negativ electriſch; die öſtlichen Winde haben mehr die Eigenſchaft der nördlichen, die weſtlichen mehr die der ſüdlichen Winde; doch ſind überhaupt negative Niederſchläge häufiger als poſitive. Starke Platzregen und Gewitterregen liefern mehr Electricität als ſanfte Landregen. Wolken ſind faſt immer negativ electriſch. Daher mag es kommen, daß die Luftelectricität oft ſo ſehr wechſelt. Volta beobachtete in einer Minute einen 14maligen Wechſel der Electricität. Hagel und Schnee ſind faſt immer electriſch, der Nebel verliert oft vor ſeinem Falle die Electricität. — Die Quelle der Luftelectricität mag wohl mannigfaltig ſeyn, allein ſeit Pouillet gezeigt hat, daß beim Ausſcheiden der im Waſſer aufgelöſten Salze, während der Verdünſtung des Waſſers und bei der Vegetation Electricität frei werde, muß man wohl in dieſem die Hauptquelle der atmoſphäriſchen E ſuchen. Nach Pouillet liefert eine Flur von 25 Q. Klafter in einem Tage mehr poſitive Electricität, als man zum Laden der ſtärkſten Batterie braucht.

232. Als eine Folge der Anhäufung der Electricität in der Luft iſt das Leuchten der Spitzen an Thürmen, Maſten der Schiffe u. ſ. w., welches man Eliasfeuer, St. Helena nennt, anzuſehen, und eines der erhabenſten Meteore, nämlich das Gewitter, deſſen weſentliche Erſcheinungen Donner und Blitz ſind. Gewitter erfolgen in der Regel nur in windſtillen Tagen und in der warmen Jahreszeit, und zwar aus folgenden Urſachen: 1) iſt im Sommer die Verdünſtung und die Menge aufſteigender Dünſte, welche Electricität mit ſich führen, am größten, und der Vegetationsprozeß geht am lebhafteſten vor ſich. 2) Schweben die Wolken im Sommer höher, und theilen deßhalb der Erde ihre Electricität nicht ſo leicht mit. 3) Sind die Nächte, wo die Luft am meiſten feucht iſt, und der Erde Luftelectricität zuleitet, in dieſer Zeit am kürzeſten; und 4) bewirken die Sonnenſtrahlen in den Wolken leichter eine Verdünſtung und daher eine neue Anhäufung der Electricität. Der Juli iſt der gewitterreichſte Monat. Wintergewitter ſind nichts Unerhörtes, aber doch eine Seltenheit. In der Regel wird ein Ort deſto öfter von Gewittern heimgeſucht, je höher ſeine mittlere Temperatur iſt. An einigen Orten der heißen Zone findet in der heißen Jahreszeit regelmäßig alle Tage ein Gewitter Statt. Von einer Weltgegend kommen mehr Gewitter als von den übrigen. In Wien iſt meiſtens die Südweſtſeite die Wetterſeite.

Nach Gronau ergibt ſich aus 20jährigen Beobachtungen zu Berlin die jedem Monate entſprechende mittlere Anzahl der Gewitter, wie folgt: Jänner 14, Februar 18, März 26, April 132, Mai 293, Juni 453, Juli 496, Auguſt 423, September 160, October 22, November 12, December 13.

233. Vor einem Gewitter häufen ſich die Wolken an einer Region beſonders ſtark an, und nehmen an Dichte ſo zu, daß ſie ſtellenweiſe ein völlig ſchwarzes Ausſehen bekommen, gewinnen eine meiſtens abgerundete Geſtalt, zeigen ſtarke Abſtufungen der Beleuchtung, und ſchweben meiſtens tief; es hängen an ihnen nach unten zu flockige graue Nebel,

die Luft wird ſchwül, ſehr electriſch, und die Luftelectricität geht ſchnell vom Poſitiven ins Negative über und umgekehrt; es erfolgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der ſie unterbricht, verſtärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blaſen, in wirbelnder Bewegung Staub aufjagen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage ſieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken, und faſt immer folgen ihnen Regengüſſe, nicht ſelten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Heftigkeit des Gewitters ab, weil er die Electricität ableitet; die Gewitterwolke wird fortgetrieben, und zwar manchmal mit einer Geſchwindigkeit, die oft 8—24 Meilen in einer Stunde beträgt, aber nicht nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, ſondern oft ſogar nach einer ganz entgegengeſetzten Richtung; oft zertheilt ſich die Wolke, und die Luft erhält eine erfriſchende Kühle, wenn nicht wieder ein neues Gewitter im Anzuge iſt. Oft endet das Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel.

234. Der Blitz iſt ein electriſcher Funke, der in einer zackigen Linie, wie der Funke aus dem Conductor großer Electriſirmaſchinen, zwiſchen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde Statt findet. Im letzteren Falle ſagen wir, er ſchlage ein. Der Weg, den er nimmt, ſeine Farbe, ſeine Wirkungen auf irdiſche Gegenſtände, z. B. die gewaltige Erſchütterung, das Durchbohren und Zertrümmern ſchlechter Leiter, das Schmelzen und Oxydiren der Metalle, das Verglaſen der Erden, das beſonders in ſandigen Gegenden Statt findet, und die ſogenannten Blitzröhren (Gilb. Ann. 55, 121. Ribbentrop über Blitzröhren. Braunſchweig 1830) erzeugt; das Entzünden brennbarer Subſtanzen, das Tödten der Thiere, ſind genau ſo, wie ſie ſich von einem ſo verſtärkten, electriſchen Funken erwarten laſſen, und wie man ſie mittelſt einer Electriſirmaſchine in ſehr verjüngtem Maßſtabe hervorbringt. Man kann gegenwärtig, wo durch Wheatſtone's Verſuche (II. 325.) die Hypotheſe der Unitarier ſo gut als widerlegt iſt, nicht mehr fragen, ob der Blitz von der Wolke zur Erde fahre oder umgekehrt; doch kann man immerhin ſagen, der Blitz fahre von jenem Körper, welcher der urſprünglich electriſche iſt, in den, welcher durch Vertheilung electriſirt worden.

235. Der Donner iſt der heftige Knall, welchen der electriſche Funke erzeugt, wenn er die Luft durchbricht. Sein Rollen entſteht theils aus der Reflexion des Schalles durch Wolken, Berge u. ſ. w., theils aus der ungleichen Entfernung der Theile des Weges, den der Blitz nimmt, von uns. In der Regel iſt der Donner, welcher den einſchlagenden Blitz begleitet, mehr praſſelnd, der, welcher von einer Wolke zur anderen fährt, mehr rollend; im letzteren Falle kann man auch, nach Bellani's Bemerkung, den aus der Wolke hervorbrechenden Blitz wohl vom matten Lichte unterſcheiden, daß ſich gleich darauf durch die ganze Wolke erſtreckt. Blitze, die ſehr weit entfernt und nur von ſchwachen Donnerſchlägen begleitet ſind, erſcheinen ohne

Donner. Oft ſind ſolche auch bloß reflectirte Blitze eines unter dem Horizonte befindlichen ſtarken Gewitters.

236. Der Umſtand, daß der Blitz ſich nach denſelben Geſetzen richtet, welche dem gemeinen electriſchen Funken den Weg vorſchreiben, brachte Franklin auf die Erfindung der Blitzableiter. Dieſe ſind eiſerne, ſtarke ($^{5}/_{4}$ W. Z. im Durchſchnitte), an einem Ende zugeſpitzte und zur Verhütung des Roſtens vergoldete oder mit einer Platinſpitze verſehene Stangen, die auf einem Gebäude ſo errichtet werden, daß ſie 3—4 Fuß über die höchſten Theile desſelben hervorragen. Da ſich die Wirkſamkeit einer ſolchen Stange, nach Charles, auf einen Umkreis erſtreckt, deſſen Halbmeſſer der doppelten Höhe der Stange gleicht, ſo müſſen größere Gebäude mit mehreren ſolchen Stangen verſehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelſt eiſerner Stangen oder Kupferſtreifen, oder nach Yelin, mittelſt Meſſingdrähten in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmaſſe eines Gebäudes ſoll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate ſtehen, weil der herabfahrende Blitz in einer ſolchen einen ſecundären electriſchen Strom (II. 390) erzeugt, der ohne Ableitung ſo ſchädlich werden kann, wie der Blitz ſelbſt. Bei einer guten Einrichtung dieſer Stangen wird ein Gebäude vor Blitzſchlägen hinreichend geſichert ſeyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abſpringen, wenn er ſo ſtark iſt, daß ihn der Conductor nicht faſſen kann, oder wenn er das Metall ſchmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmaſſe kommt, die durch Vertheilung electriſirt iſt, und nicht mit der Ableitungsſtange in Verbindung ſteht. Dasſelbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbſt im letzteren Falle wird nicht viel zu befürchten ſeyn, weil ein ſolcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Näſſe des Daches ſelbſt ableitet. Strohſeile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Geſetze der E fremd ſind. Ueberhaupt darf man, um die Wirkungsweiſe eines Blitzableiters nicht von einer falſchen Seite zu betrachten, nicht vergeſſen, daß ein Ableiter nur in ſo ferne wirkt, als er durch Vertheilung electriſch geworden iſt, und die mit der Luftelectricität gleichnamige E in die Erde abgegeben hat. Darum iſt eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde ſo weſentlich. Ja, wenn dieſe nicht Statt findet, und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Vertheilung electriſirt iſt; ſo werden ſich beide Electricitäten desſelben nach Abzug dieſer Wolke mächtig zu vereinigen ſuchen, einen ſecundären Strom erzeugen, und auf die Körper, die dieſer Vereinigung im Wege ſtehen, wie ein Blitzſchlag wirken. Man nennt dieſes Phänomen den Rückſchlag. (Siehe: Raimarus Vorſchriften zur Anlegung einer Blitzableitung an allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Ueber die Blitzableiter, ihre Vereinfachung und die Verminderung ihrer Koſten von Dr. Plieninger. Stuttgart 1835. Anweiſung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1. 403.)

Die Kenntniß der Geſetze der künſtlich erzeugten Electricität gibt ſchon die Regeln an die Hand, durch die man ſich am beſten vor Blitzſchlägen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichſt meide. Deßhalb ſoll man ſich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchſte Gegenſtand der Umgebung zu ſeyn ſuchen, keine gar ſtarke Bewegung machen, damit die Ausdünſtung nicht zu ſehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häuſern gehen, ſondern lieber die Mitte einer Straße ſuchen, ſich im Zimmer von Fenſtergittern, Glockenzügen, ja ſogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichſt dunſtfreie Orte ſuchen u. ſ. w.

237. Gewitter ſind auch häufig von **Hagel** begleitet. Dieſer beſteht aus Eiskörnern von verſchiedener Größe (1 Linie bis 6 Zoll im Durchmeſſer), die von außen eine dichte, durchſichtige Eisrinde, im Innern einen undurchſichtigen Kern aus Schnee, oft gar aus einer heterogenen Maſſe haben. Er fällt in einigen Gegenden viel öfter als in anderen, kommt zu allen Tageszeiten, am Tage und bei Nacht, doch in letzterer ſeltener vor; man hat ihn bei allen Temperaturen über und unter 0° beobachtet, doch ſcheint er nur der gemäßigten Zone eigen zu ſeyn, indem ein Hagelfall in den Tropenländern, unter 350 T. Höhe, zu den größten Seltenheiten gehört, und auch in den Polargegenden nicht oft vorkommt. Er fällt in der Regel nur im Sommer. Die Wolken, welche ihn führen, ſind tief, aufgedunſen, an den Rändern zerriſſen, und haben an ihrer Oberfläche unregelmäßige Hervorragungen. Ihre Höhe über der Erde iſt meiſtens nur 400 Fuß; doch hat man auch ſehr hohe Hagelwolken beobachtet.

238. Ueber die Entſtehung des Hagels haben ſehr verdiente Gelehrte, wie z. B. Volta, v. Buch, Lichtenberg ꝛc. ihre Anſichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derſelben ſich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze ſo große Eismaſſen entſtehen können. Zu dieſem Behufe nimmt Volta an, daß im Sommer die Wolken ſehr hoch ſteigen und in ſehr trockene Luftſchichten kommen. Beſcheint ſie nun die Sonne, ſo entſtehen an ihrer oberen Fläche Dünſte, die in die Höhe ſteigen, aber dabei in kältere Luftſchichten gelangen, und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden. Dieſe zwei über einander ſchwebenden Wolken müſſen entgegengeſetzte E haben, und zwar die untere —E, die obere +E; die in der unteren Wolke angefachte Verdünſtung bindet Wärme, und bringt die Waſſertheile in derſelben zum Gefrieren. Die ſo entſtandenen Eisſtücke werden zwiſchen den zwei electriſchen Wolken abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen, wie leichte Körper beim electriſchen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis ſie die Electricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo ſie dann herabfallen. Gegen dieſe Anſicht ſpricht aber, daß nach Gay-Luſſac's Verſuchen bei einer Temperatur über 8° C. ſelbſt in trockener, geſchweige erſt in der gewöhnlichen, Dünſte enthaltenden Luft, durch Verdünſtung keine ſo große Kälte erzeugt werden kann, wie ſie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand,

ſo viele ſich auch in Hagelwolken befanden, das Oſcilliren der Hagelkörner beobachten konnte (Lecoc beobachtete aber, als er ſich ſelbſt in den Wolken befand, eine raſche Rotationsbewegung der Hagelkörner), daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felſenvorſprüngen, Bäumen ꝛc., wohin ſie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß ſelbſt der electriſche Tanz, dem das Oſcilliren der Hagelkörner ähnlich ſeyn ſoll, zwiſchen einer Metallplatte und einer Waſſerfläche nicht vor ſich geht ꝛc. Nach v. Buch entſteht an Stellen, wo ſich die Erde ſehr ſtark erhitzt, ein aufſteigender Luftſtrom, der die feuchte Luft zu einer ſolchen Höhe emporführt, daß ſchon beim Aufſteigen, und noch mehr in der oberſten Stelle ſehr viel Waſſer daraus ausgeſchieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünſtet, gefriert, durch neuen Dunſtniederſchlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und ſo Hagelkörner bilden. Auch mit dieſer Anſicht ſteht die Wärmebindung beim Verdunſten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen hygroſcopiſchen Zuſtande der Luft durch Verdünſtung keine ſolche Kälte entſtehen kann; auch ſieht man daraus nicht ein, warum Hagel ſtets nur bei Gewitterausbrüchen Statt findet. man begreift nicht, wie ſich beim Herabfallen der Anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner ſo große, als ſie bereits beobachtet worden ſind (zu Maſtricht fielen am 3. Auguſt 1827 Eisſtücke von 6 Z. Durchmeſſer, in Padua am 26. Auguſt 1835 Stücke von 17 Centimeter Durchmeſſer, zu Clermont im Juli 1835 ellipſoidiſche Körner von der Größe eines Hühnereies), bilden können, wie ein Hagelfall möglich ſey, der ſich über ganze Länder erſtreckt (Arago erwähnt eines ſolchen Falles, der ſich durch ganz Frankreich bis nach Holland erſtreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es iſt leicht einzuſehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiſerne, im Freien aufgerichtete Stangen, die man als ſolche empfahl, können die E an ſo hoch ſchwebenden Wolken nicht ableiten, wie die ſind, worin ſich der Hagel bildet, und daher ſelbſt nach Volta's Anſicht auch nicht die Bildung desſelben hindern; iſt er aber bereits gebildet, ſo können ſie ihn höchſtens durch Einſaugen der E zum Fallen bringen, und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unſere theoretiſche Einſicht, ihre Wirkung ſo groß ſeyn, als man hie und da behauptet; ſo bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter ſeyn ſollten. Daß ſie aber dieſes nicht ſind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern verſehene Gebäude eben ſo gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit ſeiner niederen Vegetation.

239. Von der Luftelectricität rührt höchſt wahrſcheinlich jene Erſcheinung her, die man Waſſerhoſe nennt. Man bemerkt nämlich, daß das Meer unter einer electriſchen Wolke plötzlich zu wallen und unruhig zu werden anfängt, zur Geſtalt eines hohlen 2—200 F. dicken und 30—1500 F. hohen Kegels anſchwillt, und ſich ſammt der Wolke zum großen Schaden der Schiffe, die ihm in den Weg kommen, forttreibt und dabei ſich beſtändig um eine Axe dreht. Wenn ſich die

Wolke und der Waſſerkegel vereinigen, oder nur ſich ziemlich nahe kommen, ſtürzt jene als Regenguß herab; manchmal tritt ſie auf das Land hinaus, und bewirkt im Sande daſſelbe, wie im Waſſer, wo dann eine Erſcheinung eintritt, die man Erdtrombe nennt. Fig. 390 gibt die Abbildung einer Waſſerhoſe. Beide Phänomene entſtehen meiſtens bloß in der Nähe des Landes und unter dem Einfluſſe eines ſtarken Temperatur- und Windwechſels, erſcheinen nie bei ausgedehnten Gewittern oder bei einem weit um ſich greifenden Winde. Kanonenſchüſſe ſollen ſie, nach der Ausſage der Seeleute, zerſtören. (Gilb. Ann. 6. 30. und 158; 7. 49; 83. 95.)

Nach Demaiſtre (Schweigg. J. 7. 291.) ſind Waſſerhoſen nicht die Wirkung electriſcher Anziehungen, ſondern der Wirbelwinde, welche durch die geweckte Fliehkraft die Luft gegen die Peripherie des vom Wirbel beſchriebenen Kreiſes treiben, und dadurch gleichſam ein Aufſaugen des Waſſers bewirken. Demaiſtre ſchließt dieſes aus einem Verſuche, den er anſtellte, indem er Waſſer in einem Gefäße mit Mohnöl deckte, und letzteres durch ein Flügelrad in drehende Bewegung verſetzte. Da hob ſich in der That das Waſſer in der Axe kegelförmig in die Höhe; allein davon kann man nicht auf einen ähnlichen Hergang im Freien ſchließen, wo der Mangel an Seitenwänden den Effect ſtark modificirt.

240. Zu den electriſchen Erſcheinungen gehört auch das Nordlicht. Dieſes zeigt ſich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Geſtalt eines kreisförmigen, vom Horizont begrenzten Segmentes, deſſen Mittelpunkt im magnetiſchen Meridiane zu liegen ſcheint, und das mit einem hellen Ringe umgeben iſt, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüſchel von verſchiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, ſich manchmal bis zum Zenith erſtrecken, daſelbſt eine Art Krone bilden, deren Mittelpunkt in der verlängerten Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen ſcheint. Einige beſonders ſtarke Nordlichter ſollen auch ein Geräuſch verbreitet haben, wie das iſt, welches ein Luftzug verurſacht, doch wird dieſes von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 387 ſtellt ein Nordlicht vor. Man ſieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und ſchöner als bei uns, ja wir ſehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufſteigen, um über unſeren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geog. Breite iſt dem Erſcheinen der Nordlichter gleich günſtig. Nach Einigen ſollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter ſichtbar ſeyn, als im nördlichen Europa. An demſelben Orte iſt manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen ſie eine beſtimmte Periode. Eine ähnliche Erſcheinung findet man auch am Südpole, und nennt ſie Südlicht. Zur Erklärung dieſer merkwürdigen Erſcheinung haben Halley, Euler, Mairan, Franklin, Hell, Lichtenberg, Dalton, Biot, Hanſteen das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes ſagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Oſt nach Weſt zeigt, ſo muß es an der Axendrehung der

Erde Theil nehmen, und daher in der Atmoſphäre ſeinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes ſoll 25000 Meter ſeyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig, aber nicht immer die Magnetnadel, und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abſtößt, wirkt aber auf nicht magnetiſche, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat dabei mit dem Ausſtrömen der Electricität viele Aehnlichkeit, und läßt ſich nach Thienemann gerade da am häufigſten ſehen, wo die wenigſten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Electricität einen Antheil an ſeiner Erſcheinung haben. Wichtig iſt Hanſteen's Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabſinkt. Aus allem dieſen geht hervor, daß das Nordlicht in einer electriſchen Entladung beſtehe, über deren nähere Natur erſt weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müſſen. (Zeitſch. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Achtes Kapitel.

Lichtmeteore.

241. Es gibt viele Meteore, die ihr Entſtehen ganz den Modificationen verdanken, welche das Licht beim Durchgange durch die Luft erleidet. Die vorzüglichſten derſelben ſind: 1) die Geſtalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das ſogenannte Waſſerziehen der Sonne, 5) die aſtronomiſche Strahlenbrechung und Luftſpiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixſterne; 7) Nebenſonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

242. Die atmoſphäriſche Luft iſt zwar keineswegs vollkommen durchſichtig; doch iſt ihre Durchſichtigkeit ſo groß, daß ſie uns erſt in Schichten von ſehr bedeutender Dicke ſichtbar wird. Zur Beurtheilung der Entfernung der ſichtbaren Luftſchichten haben wir kein anderes Hilfsmittel, als die verſchiedene Intenſität der von ihnen in unſer Auge gelangenden Strahlen. Da nun dieſe Intenſität in der Regel rings um uns in gleicher Höhe gleich groß, nahe am Zenith aber größer iſt, als tiefer abwärts; ſo ſcheint die ſichtbare Luftmaſſe unſere Erde wie eine am Zenith etwas eingedrückte Kugel zu umſpannen. Daß ſie uns blau erſcheint, vermögen wir freilich nicht weiter zu erklären, als daß wir ſagen, es liege in der Natureinrichtung, daß von den durch die Erde der Luft zugeſendeten Strahlen gerade die blauen vorzugsweiſe reflectirt werden. Die Durchſichtigkeit der Luft wird durch mehrere Umſtände, vorzüglich durch beigemengte Stoffe und durch Wärmewechſel, bedeutend abgeändert, und darum wechſelt die Farbe des Himmels vom intenſivſten Blau durch alle Abſtufungen desſelben bis zum blaſſeſten und zur gänzlichen Undurchſichtigkeit. Beigemengtes expanſibles

Waſſer macht die Luft durchſichtiger und erhöht daher den Ton ihrer blauen Farbe, aus demſelben Grunde, aus welchem Papier durch Oelen durchſichtiger wird (S. 285); daher auch ein ſehr dunkelblauer Himmel auf die Gegenwart vieler Dünſte ſchließen läßt. So wie aber dieſe Dünſte ihre Ausdehnſamkeit verlieren, machen ſie den Himmel blaſſer, und können ihm ſeine Durchſichtigkeit ganz benehmen. Andere nicht ausdehnſame, in der Luft befindliche Stoffe, wie z. B. der ſogenannte Sonnenſtaub, wirken wie fein zertheiltes Waſſer. Daher iſt es begreiflich, warum der Himmel auf hohen Bergen ein dunkleres Blau hat, als in Thälern. Beim Sehen durch Fernröhre, bei Verſuchen mit Brennſpiegeln ꝛc. überzeugt man ſich von Aenderungen der Durchſichtigkeit der Luft, die man mit freiem Auge gar nicht wahrnimmt. Sie rühren wahrſcheinlich von der ungleichen Vertheilung der Wärme in der Luft, und vom Wechſel ungleich warmer Luftſchichten her, die wie heterogene Mittel auf das Licht wirken. Sauſſure hat die Bläue des Himmels mittelſt eines eigenen Inſtrumentes (Cyanometer) beſtimmt. Der Grund dieſer unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft liegt gewiß darin, daß ſie kein ſtetiges Gemenge von ungleichartigen Körpern iſt; denn ein Lichtſtrahl wird nothwendig bei jedem Uebergange von einem Theilchen in den leeren Raum zum Theile reflectirt. Dieſes zeigt ſich vorzüglich dadurch, daß die Bläue des Firmamentes deſto dunkler iſt, je mehr ſich Waſſerdünſte (nicht fein zertheiltes Waſſer) in der Luft befinden, mithin je ſtetiger das Gemenge iſt. Auf hohen Bergen fand Sauſſure die Luft völlig dunkelblau, und ſelbſt in der Ebene erſcheint ſie uns nach einem Regen, beſonders an der der Sonne gegenüberſtehenden, heiteren Seite, von einem ſehr geſättigten Blau, das gegen die Sonne hin immer blaſſer wird, und zuletzt völlig in Weiß übergeht.

Sauſſure's Cyanometer beſteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichteſten bis zum dunkelſten Blau wechſelt. Man erhält ſie durch Vermiſchung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verſchiedenen, beſtimmten Verhältniſſen. Die Zahl des Feldes, deſſen Blau mit dem des Himmels übereinſtimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Parrot hat ein anderes Cyanometer angegeben. (Gilb. Ann. 24. 69.) Leslie beſtimmt die Durchſichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat, und mit der anderen im Brennpunkte eines paraboliſchen Hohlſpiegels ſteht. Dieſe Kugel erkaltet deſto mehr, je heller der Himmel iſt. Er nennt dieſes Inſtrument Aethrioſkop.

243. Wenn der weſtliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen iſt, ſo ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerſcheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verſchiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb und Hellroth bis zum Dunkelroth wechſelt. Wenn nämlich die Sonne dem Untergange ziemlich nahe iſt, und leichte Wolken am Horizont ſtehen, ſo erſcheinen dieſelben in Oſten roth. So wie die Sonne tiefer ſinkt, färben ſich auch noch die weſtlichen dünnen Wolken mit dem Abendroth, und die ganze Abendgegend erſcheint orange; dichtere, niederſchwebende Wol-

ken ſind mit herrlichem Purpur bekleidet, während höhere noch weiß erſcheinen. Nach Sonnenuntergang ſieht man, wenn am Tage das Firmament ſchön blau war, ein zartes Roth am Himmelsgewölbe, und in Oſten, der Sonne gegenüber, einen dunklen, bogenförmigen Raum mit finſterem Blau, über dieſem einen röthlichen, und noch höher hinauf einen weißen Bogen. Ueber dieſem erſcheint das gewöhnliche Blau des Firmamentes, das gegen Weſten hin in mancherlei Abſtufungen in die Farbe der Abendröthe übergeht. Alle dieſe Erſcheinungen treten mehr und weniger deutlich hervor, und ihre größere oder kleinere Entwicklung hängt von der Stellung der Wolken, von der Durchſichtigkeit der Luft, und ſelbſt von den am weſtlichen Horizont befindlichen irdiſchen Gegenſtänden ab. Am Morgen zeigt ſich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Oſtſeite dieſelbe Erſcheinung, und heißt Morgenröthe. Dieſe Phänomene werden dadurch hervorgebracht, daß die Luft vorzugsweiſe blaues Licht reflectirt und gelblich rothes durchläßt. So lange die Sonne hoch ſteht, gehen ihre Strahlen durch eine zu wenig dicke und zu wenig mit Dünſten beladene Luftſchichte, als daß die ihr eigenthümliche Färbung deutlich hervortreten könnte, je tiefer ſie aber ſinkt, eine deſto dickere und deſto mehr mit Dünſten geſchwängerte Luft müſſen die Lichtſtrahlen durchwandern, und die von der Luft vorzugsweiſe durchgelaſſene Farbe muß bemerklich werden.

244. Weil die Dünſte das Licht ſtärker brechen, als die reine Luft, ſo müſſen ſie, wenn ſie vom Winde hin- und her bewegt werden, eine Erſcheinung an den Geſtirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich iſt. Geſchieht dieſes ſehr ſchnell, ſo erſcheinen die Sterne auch größer und heller. Es iſt bekannt, daß man das Stattfinden dieſer Erſcheinung für einen Vorboten naſſer Witterung anſieht. Aus der ſtarken Licht brechenden Kraft der feuchten Luft erklärt ſich auch die auffallende, ſcheinbare Nähe ſonſt ferner Gegenſtände.

245. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke ſteht, das nahe daran iſt, Regen herabzuſchütten, durch einige Oeffnungen desſelben hindurchſcheint und die Luft beleuchtet; ſo reflectiren die Waſſertröpfchen das Licht, und es erſcheinen Streifen, die lichter ſind, als ihr Grund. Dieſe Streifen ſcheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und ſich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn ſich dort die Sonne befände. Dieſes Phänomen, welches unter dem Namen Waſſerziehen der Sonne bekannt iſt, verkündet baldigen Regen. Es erſcheint im Sommer öfter als im Winter, und bei niederem Sonnenſtande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es ſich, daß man Strahlen ſieht, die von einem der Sonne gerade entgegengeſetzten Punkte des Firmamentes auszufahren ſcheinen, aber immer viel ſchwächer ſind, als die vorhin beſprochenen. Sie beruhen auf demſelben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengeſetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünſten der unteren Luftregion eben ſo ſichtbar, wie ein Lichtſtrahl in einem dunkeln Zimmer durch Reflexion in den feinen,

in der Luft ſchwebenden Stäubchen, und wiewohl dieſe Strahlen parallel ſind, ſo ſcheinen ſie doch durch optiſche Täuſchung gegen die fernſten Stellen zu convergiren, gerade ſo wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteſte Ende zu convergiren ſcheint.

246. Wenn das Licht in die Atmoſphäre eintritt, ſo erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe; dasſelbe erfolgt, ſo oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtſtrahl, der durch die ganze Atmoſphäre zu uns gelangt, eine nach oben convexe Bahn beſchreiben, die deſto mehr gekrümmt iſt, je länger der in der Atmoſphäre zurückgelegte Weg des Lichtes iſt. Die Wirkung dieſer Krümmung der Bahn eines Lichtſtrahles iſt, daß jeder Punkt, der einen ſolchen Strahl in unſer Auge abwärts ſendet, höher zu liegen ſcheint. Am Horizont iſt dieſe Wirkung am größten und am unregelmäßigſten, je näher dem Zenithe, deſto kleiner und regelmäßiger erſcheint ſie, bis ſie im Zenithe ſelbſt ganz verſchwindet. Die Kenntniß dieſer Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdiſchen Objecten kommen, irdiſche, wenn ſie von Himmelskörpern kommen, aſtronomiſche Strahlenbrechung nennt, iſt bei der Beſtimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derſelben geht die Sonne früher auf und ſpäter unter, ſo daß dadurch der längſte Tag bei uns nahe um 8.5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.; in mäßiger Entfernung vom Zenith iſt ſie der Tangente des Abſtandwinkels proportional.

247. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel ſo, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einſchlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner iſt, als unten; allein es gibt doch Fälle, wo wegen der höheren Temperatur der oberen Luftſchichten das Gegentheil Statt findet, und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenſtänden, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und ſelbe ſichtbar machen; es können auch dieſe ſowohl, als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verſchoben, in der Luft ſchwebend erſcheinen, wie Fig. 377 zeigt. Alle dieſe Phänomene ereignen ſich nur in großen (wenigſtens 2 Stunden langen) Ebenen, und ſind unter dem Namen der Luftſpiegelung, Seegeſicht, Kimmung bekannt. Es ſey AB (Fig. 378) ein Gegenſtand, der ſich unter dem Horizonte OH des Auges O befindet. Werden die Strahlen, welche von AB ausgehen, ſo gebrochen, daß ſie die Krümmung AO und BO bekommen, ſo erſcheint AB über OH in ab. Werden die Strahlen, welche ſonſt über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasſelbe abgelenkt, ſo kann nebſt ab auch noch ein zweites Bild a′b′ erſcheinen, das ſogar verkehrt ſeyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Linie beſchreibt, als der obere.

248. Bei feuchter Witterung ſieht man nicht ſelten den Himmel mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen, und die Sonne, den Mond oder auch Fixſterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter iſt, als der übrige Theil des Firmamentes und Hof heißt. Dieſer zeigt ſich oft mit Regenbogenfarben. Man unterſcheidet aber zweierlei Höfe, kleinere mit dem Körper, den ſie umgeben, zuſammenhängende, die, falls ſie gefärbt erſcheinen, nach außen roth ſind, und bald einen größeren, bald kleineren Durchmeſſer haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abſtehende, bei denen die rothe Farbe nach innen gekehrt iſt, und deren Durchmeſſer gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt ſo großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 392 zeigt dieſes Phänomen.

249. Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunſtkügelchen, die einen undurchſichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunſtbläschen zu erklären geſucht. Die neueſte Erklärung hat Fraunhofer geliefert, die der Natur der Sache mehr entſpricht, als alle früheren. Die kleineren Höfe erklärt Fraunhofer aus einer Beugung der Lichtſtrahlen, die an den Rändern der in der Atmoſphäre ſchwebenden Dunſtkügelchen vorbeifahren. Er beweiſet, daß dieſe Beugung gerade ſo vor ſich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmeſſer geleitet würde, und überzeugte ſich, daß man im Geſichtsfelde eines achromatiſchen Fernrohres die S. 362 beſchriebenen, einem Hofe der kleineren Art völlig ähnlichen Farbenringe ſieht, wenn man vor dem Objectivglaſe ſehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Oeffnung einen ſtarken Lichtſtrahl darauf leitet. Dieſe Ringe ſind deſto größer, je kleiner die Glaskügelchen ſind. Es ſtellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 382 Dunſtkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden, und nach der Beugung unter verſchiedenen Winkeln ausfahren. Geſetzt, es fahren die vom Kügelchen b gebeugten ſo aus, daß rothe Strahlen, welche den erſten Ring bilden, ins Auge o gelangen, ſo werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen, und den Weg bf, bg einſchlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach o gelangen. Auf ähnliche Weiſe geſchieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunſtkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerſtreut, ſo ſieht das Auge o Farbenringe um S, wovon der erſte, rothe in einem Abſtande boS, der zweite rothe in einem Abſtande aoS vom leuchtenden Körper erſcheine. Haben die Dunſtkügelchen beinahe einerlei Größe, ſo haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmeſſer, ſie fallen auf einander und verſtärken den Eindruck jedes einzelnen; haben ſie aber eine verſchiedene Größe, ſo fallen die Ringe von verſchiedener Farbe an denſelben Platz, die Farben werden matter oder verſchwinden ganz, ſo daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Kör-

per übrig bleibt. Sind die Dunſtkügelchen groß, ſo werden die Farbenringe ſehr klein, und können um größere und heller leuchtende Geſtirne nicht mehr geſehen werden, theils weil des größeren Durchmeſſers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in ſo großer Nähe beim leuchtenden Körper verſchwindet. In dieſem Falle können aber noch um Fixſterne Höfe erſcheinen. Man begreift wohl, daß man in einem ſehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof wahrnehmen kann, und daß der Mond und die Sonne durch ein ſtark mit Dünſten beſchlagenes Fenſter mit einem Hofe erſcheinen muß, während man im Freien dieſes nicht bemerkt. — Die größeren Höfe erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskryſtallen aus ſechsſeitigen oder dreiſeitigen Prismen. Er zeigt, daß ſie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexionen in Dunſtkügelchen oder Dunſtbläschen abgeleitet werden können, beſtimmt aus ſeiner Formel den Durchmeſſer der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen ſehr wohl übereinſtimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuſpitzung, ſo laſſen ſich aus einer Brechung des Lichtes in denſelben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein ſolches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren desſelben, ſogar ein dritter, wie ihn Hevel geſehen haben will, vollſtändig, dem Maße nach erklären. (Dove in Pogg. Ann. 26. 310.)

250. Manchmal ſieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebſt der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebenſonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden ſich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes (Nebenſonnenkreiſes), deſſen Breite dem ſcheinbaren Durchmeſſer des Geſtirnes gleicht, und der ſelbſt von farbigen Höfen, die das Geſtirn umgeben, durchſchnitten wird. Die Nebenſonnen und Nebenmonde ſtehen in dem Durchſchnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht ſelten vom Geſtirne abgewendete, weiße, lange Schweife, und ſind auch manchmal mit dem wahren Geſtirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 389.) Das innerhalb des kleineren Hofes befindliche Stück des Nebenſonnenkreiſes erſcheint immer matter als der übrige Theil desſelben. Man bemerkte auch ſchon Nebenſonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmeſſer des gerade aufgehenden Geſtirnes an Breite gleichen Säule. Selten zeigt ſich das Phänomen der Nebenſonnen in ſeiner ganzen Vollſtändigkeit, wo es aus wenigſtens dreizehn Ringen oder Ringtheilen beſteht, in deren Durchſchnittspunkten die Nebenſonnen erſcheinen.

251. Die Nebenſonnen und Nebenmonde, nebſt den ſie begleitenden Phänomenen, hat zuerſt Huyghens, und in unſerer Zeit Fraunhofer zu erklären geſucht, und wiewohl dieſe beiden Gelehrten von ſehr verſchiedenen Geſichtspunkten ausgingen, ſo genügen doch beide Erklärungen der Erfahrung, und es muß erſt die Zukunft hierüber näher entſcheiden. Huyghens nimmt an, es bilden ſich in den Wolken ſechsſeitige Eisprismen, die bei ihrem Herabſinken eine ſolche Lage annehmen, daß ſie den kleinſten Widerſtand erfahren, und dieſem ge-

mäß nehmen die Axen der längeren Prismen (Eisnadeln) eine verticale, jene der kürzeren (Tafeln) eine horizontale Lage an. Die verticalen Seitenflächen der erſteren und die Grundflächen der letzteren ſtellen eben ſo viele verticale Planſpiegel vor, welche dem Auge des Beobachters vom leuchtenden Körper Licht zuſenden, und ihm von demſelben ein Bild gewähren, welches mit ihm gleich hoch ſteht und einen Winkelabſtand hat, der dem doppelten Einfallswinkel des Lichtes, von der Spiegelfläche an gerechnet, gleich kommt. Sind dieſe Eisnadeln in allen Azimuthen vorhanden, ſo liefern ſie einen horizontalen farbloſen Lichtring von der Breite des leuchtenden Objectes. Er geht durch dieſes Object, weil die ſehr ſchief einfallenden Strahlen ein dieſem Objecte ſehr nahes, jene aber, deren Einfallswinkel = o iſt, ein wirklich mit dem Objecte zuſammenfallendes Bild geben. Dieſe Erklärung hat neueſtens Babinet durch künſtliche Nachbildung des betreffenden Phänomens auf dem Wege der Reflexion zu bekräftigen geſucht. Nach Fraunhofer rühren die geſammten, hier in Rede ſtehenden Phänomenen von der Beugung des Lichtes an Dunſtkügelchen her. Der Umſtand, daß die aufgehende Sonne, durch ein Gitter angeſehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abſtehenden Fäden beſteht, das Phänomen der verticalen Nebenſonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, dieſe Erſcheinung entſtehe durch Beugung des Lichtes an den Dunſtkügelchen der Atmoſphäre. Man denke ſich in einer Schichte des Dunſtkreiſes Dunſtkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet ſind, aber doch ſo liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizonte befindlichen Sonne auf ſie ein, ſo werden ſie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken ſie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler, und bringen dieſelben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Daß keine Farben zum Vorſchein kommen, rührt davon her, daß wegen der Ausdehnung des Sonnendurchmeſſers die verſchiedenfarbigen Streifen in einander fallen, und durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe erzeugen. Weil der Abſtand der Mitte je zweier Dunſtkügelchen an verſchiedenen Tagen verſchieden ſeyn kann, ſo iſt auch der Abſtand der verticalen Nebenſonnen nicht immer nothwendig derſelbe, und weil dieſer Abſtand für verſchiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich ſeyn kann, ſo erſcheint oft gar keine Nebenſonne, ſondern nur ein verticaler Lichtſtreifen, d. i. eine ſogenannte Feuerſäule, wie man ſie manchmal ſieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erſcheinung lehrt Fraunhofer künſtlich hervorbringen. Radirt man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber ſehr ungleich von einander abſtehende Linien, und ſieht durch dieſes, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne, ſo erblickt man zu beiden Seiten derſelben einen horizontalen, weißen Lichtſtreifen, der ſo breit iſt, wie der ſcheinbare Sonnendurchmeſſer, und ſo lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein ſolches Glas an, worauf gerade,

von einem Punkte ausgehende Linien gezogen ſind, und welches gegen die Sonne gehörig geneigt iſt, ſo erblickt man einen vollſtändigen weiſſen Kreis. Gibt es nun im Dunſtkreiſe kleine Körperchen, z. B. Dunſtkügelchen, Kryſtalle, die für den horizontal kommenden Lichtſtrahl in verticalen Linien zu liegen ſcheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben, und deren Abſtände gegen ihren Durchmeſſer ſehr klein ſind; ſo bieten ſie den Lichtſtrahlen im verticalen Sinne keine Zwiſchenräume dar, ſondern decken ſich, und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt, und gelangen ſo ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farbloſigkeit kommt wieder von der verſchiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verſchiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, ſo bemerkt man auch einen verticalen Lichtſtreifen vom leuchtenden Körper aus, ſo daß dieſer mit einem Kreuze erſcheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchſchneidet, muß eine größere Lichtſtärke herrſchen, und es muß daſelbſt eine horizontale Nebenſonne erſcheinen, die noch dadurch verſtärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwiſchenräumen der Eiskryſtalle nach dieſer Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebenſonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an beſtimmten Stellen (wo ſie den größeren Hof bilden) am ſtärkſten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieſer Stelle noch eine empfindbare Stärke haben. (Theorie der Höfe, Nebenſonnen von Fraunhofer, in den aſtronomiſchen Nachrichten herausgegeben von Schumacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67. Brandes in ſeinen Unterhaltungen für Freunde der Phyſik. 3. Heft. S. 205. Babinet in Pogg. Ann. 41. 128.)

Dieſe Lichtphänomene ſind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebenſonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe ſollen ſich beſonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel ſich zeigt, und auch deſto größer ſeyn, je größere Flocken dieſe Wolkenart bildet. Große Ringe, Nebenſonnen, Nebenmonde ꝛc. fordern zu ihrem Entſtehen entweder den Stratus oder den Cirroſtratus. (Mayer in Kaſt. Arch. 13. 237.)

252. Eine der ſchönſten Lufterſcheinungen iſt der Regenbogen. Er erſcheint in jenen Regenwolken, die von der Sonne beſchienen werden, und dem Auge des Beobachters gegenüberſtehen, und zeigt die gewöhnlichen prismatiſchen Farben, wovon Violett nach innen, Roth nach außen vorkommt. Wenn dieſe Farben recht lebhaft ſind, ſo bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmeſſer, als jener des erſteren iſt, ſeine Farben ſind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, ſo daß die innere roth, die äußere violett iſt. Manchmal zeigen ſich nur Stücke eines Regenbogens, ſogenannte Regengallen. Regenbogen, welche unter denſelben Bedingungen durch den Mond entſtehen, wie die genannten durch die Sonne, ſind nicht ſo häufig, und immer matter als erſtere.

253. Die Entſtehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der ſie begleitenden Farbenzerſtreuung in den herabfallenden Waſſertropfen. Es ſey (Fig. 379) A ein Regentropfen, C ſein Mittelpunkt, SA ein Sonnenſtrahl, der mit dem Horizonte OH den Winkel SHO macht. Dieſer wird beim Auffallen auf A nach B gebrochen, da zum Theile reflectirt und beim Austritte wieder ſo gebrochen, daß er nach O gelangt. Man kann durch Rechnung zeigen, daß die Strahlen, welche parallel auf A auffallen, auch wieder faſt parallel nach O reflectirt werden, wenn $ACB = 59^\circ\ 24'$ iſt, und daß daher, wenn in O das Auge des Beobachters ſteht, es das Sonnenbild deutlich nach der Richtung OE ſehen wird. Bei der Brechung wird der Lichtſtrahl zugleich in ſeine farbigen Beſtandtheile zerlegt, ſo, daß von den in und um A auffallenden Strahlen nur eine Gattung derſelben ins Auge kommen kann. Die Rechnung lehrt, daß, wenn der Winkel SEO, welchen der auffallende Strahl mit dem gebrochenen macht, $40^\circ\ 16'$ beträgt, nur violette, wenn er aber $42^\circ\ 2'$ beträgt, nur rothe Strahlen nach O kommen werden, während bei einem Winkel, der größer als jener, aber kleiner als dieſer iſt, das Auge von den zwiſchen Roth und Violett liegenden getroffen wird. Denkt man ſich daher OF parallel mit SA, $EOF = 42^\circ\ 2'$, $E'OF = 40^\circ\ 16'$, ſo ſieht man leicht, daß alle Tropfen, welche unter demſelben Winkel Strahlen ausſenden und rings um OF herumliegen, das Bild eines gefärbten Bogens erregen werden, deſſen Breite $42^\circ\ 2' - 40^\circ\ 16' + 30'$ (als ſcheinbarer Sonnendurchmeſſer), $= 2^\circ\ 16'$ beträgt, und deſſen Höhe von der Sonne abhängt.

Es ſey C (Fig. 380) der Mittelpunkt eines Waſſertropfens, SA ein einfallender Strahl, $CAK = e$ der Einfallswinkel, AB die Richtung des gebrochenen Strahles und $CAB = r$; ferner BD die Richtung des reflectirten Strahles, woraus folgt $ABC = CBD = r$, und DF die Richtung des austretenden Strahles, mithin $SKF = 2\omega$ der Winkel, den der Strahl nach zwei Brechungen und einer Reflexion mit dem directen Strahle macht. Es iſt klar, daß die den Winkel ABD halbirende Linie CB verlängert auch AKD halbirt, und daß man hat

$$r = e - r + \omega,$$
$$\omega = 2r - e.$$

Iſt nun SA ein Strahl, der nach ſeinem Austritte aus D zu den wirkſamen gehört, ſo darf ſich ω für einen Strahl, der mit SA parallel eintritt, nicht ändern. Wird nun für einen ſolchen Strahl aus r, $r + \rho = r'$ und aus e, $e + \varepsilon = e'$, ſo hat man dafür

$$\omega = 2(r + \rho) - (e + \varepsilon) = 2r - e + 2\rho - \varepsilon,$$
$$\omega = \omega + 2\rho - \varepsilon, \text{ d. i.}$$
$$2\rho = \varepsilon \ldots \text{(a)}.$$

Heißt das Brechungsverhältniß von Luft in Waſſer $n : 1$, ſo iſt

$$\sin e : \sin r = n : 1, \text{ und}$$
$$\sin e = n \sin r \ \ldots \text{(b)},$$
$$\sin(e + \varepsilon) = n \,.\, \sin(r + \rho),$$
$$\sin e \,.\, \cos \varepsilon + \sin \varepsilon \,.\, \cos e = n \,.\, \sin r \,.\, \cos \rho + n \,.\, \sin \rho \cos r, \text{ d. i.}$$
$$n \,.\, \sin r \,.\, \cos \varepsilon + \sin \varepsilon \,.\, \cos e = n \,.\, \sin r \,.\, \cos \rho + n \,.\, \sin \rho \cos r \ \text{(c)}.$$

Weil aber der genannte Strahl, wenn ihn ein Auge zugleich mit dem erſten ſoll aufnehmen können, ſehr nahe am erſteren liegen muß; ſo wird

$\cos \varepsilon = 1$, $\sin \varepsilon = \varepsilon$, $\cos \rho = 1$, $\sin \rho = \rho$, mithin aus (c)

$n \cdot \sin r + \varepsilon \cdot \cos e = \sin r + n\,\rho \cdot \cos r$ oder

$\varepsilon \cdot \cos e = n \cdot \rho \cos r$ und aus (a),

$2 \cdot \cos e = n \cdot \cos r$, mithin

$4 \cdot \cos e^2 = n^2 \cos r^2$, ferner aus (b)

$\sin e^2 = n^2 \sin r^2$, daher

$4 \cdot \cos e^2 + \sin e^2 = n^2 (\cos r^2 + \sin r^2) = n^2$,

$4 \cdot \cos e^2 + 1 - \cos e^2 = n^2$ und

$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}.$$

Setzt man nun für n die jedem gegebenen Brechungsverhältniſſe entſprechenden Zahlen, ſo kann man hieraus die Werthe von ω und e berechnen und obige Größen finden.

254. Den äußeren Regenbogen erklärt man ſich auf ähnliche Weiſe. Es ſey ein Lichtſtrahl SA (Fig. 381), der auf den Regentropfen fällt, deſſen Mittelpunkt C iſt. Dieſer bekommt in A durch Brechung die Richtung AB, durch Reflexion in B und D die Richtung BD und DE, und endlich beim Austritte durch eine abermalige Brechung EO, und gelangt ſo ins Auge O. Beſteht der Lichtſtrahl, wie es bei Sonnenſtrahlen der Fall iſt, aus ungleich brechbaren Theilen, ſo tritt in E ein Lichtbüſchel aus, wovon nur ein beſtimmter Theil ins Auge O gelangt. Iſt OF parallel mit AS, ſo kann man beweiſen, daß rothes Licht ins Auge kommen wird, wenn EOF = 50° 59′ iſt; hingegen violettes, wenn dieſer Winkel 54° 9′ beträgt. So wie im vorigen Falle werden auch die Tropfen, welche innerhalb der genannten Grenzen liegen, den farbigen Bogen erzeugen.

Zieht man auf den Durchſchnittspunkt des einfallenden und austretenden Strahles von C die Gerade CG, ſo wird CGE = CGA = ω, ACG = ECG = x, und CAB = CBA = CBD = BDC = CDE = r. Man hat daher alle Winkel um C herum, nämlich

$6R - 6r + 2x = 4R$ oder

$x = 3r - R$, aber

$\omega = e - x$, und daher

$\omega = e - 3r + R$.

Durch eine ähnliche Rechnung, wie die vorhin angeſtellte, findet man für die wirkſamen Strahlen

$\varepsilon = 3\rho$,

$3 \cos e = n \cdot \cos r$, woraus man mittelſt der Gleichung

$\sin e = n \; \sin r$ erhält;

$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}.$$

Durch Subſtitution der für n gehörigen, numeriſchen Werthe erhält man obige Größe der Winkel.

255. Aus dieſer Anſicht, deren Richtigkeit man übrigens auch durch Verſuche mit einer gläſernen Kugel prüfen kann, indem man ſie erhöht oder erniedriget, bis man in ihr dieſe oder jene prismatiſche Farbe wahrnimmt, und noch dazu dadurch unterſtützt wird, daß das Regenbogenlicht wirklich wie durch Reflexion polariſirt iſt, ſo wie es die Theorie fordert, läßt ſich auch einſehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erſcheinen kann, daß jeder Beobachter ſeinen eigenen Regenbogen ſieht, und zwar in jedem Augenblicke einen ande-

ren, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß beſonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt ſind, nur ein Stück des gefärbten Kreiſes über dem Horizonte liegt. Es wird nämlich das ſichtbare Stück des Regenbogens durch den Winkel (Fig. 379) EOH = EOF — HOF = 42° 2′ — HOF ausgedrückt, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man ſieht daher nur einen Regenbogen, wenn die Sonnenhöhe kleiner als 42° 2′ iſt, und der ſichtbare Bogen hat ſelbſt beim Sonnenuntergange nur eine Höhe von 42° 2′. Auf hohen Bergen ſieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis ſehen, wenn das Auge 42° 2′ unter den Horizont reichte. Dieſes kann geſchehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe iſt, wie es bei Waſſerfällen oft geſchieht.

256. Außer den zwei leicht zu erklärenden Regenbogen zeigen ſich manchmal auch noch ungewöhnliche Erſcheinungen. Dahin gehören die umgekehrten Regenbogen und diejenigen, welche außer dem erſten und zweiten Hauptbogen erſcheinen. Erſtere erklärt man ſich auch unter anderen daraus, daß die Sonne ſich in einem ruhig ſtehenden Waſſer ſpiegelt; letztere kommen wahrſcheinlich von den Lichtſtrahlen, welche bei der Reflexion im zweiten Bogen die Tropfen durchdringen, auf andere Tropfen fallen, und von dieſen wieder ins Auge des Beobachters gelangen. Chiminello, Mayer, Hube, Young, Schmidt geben andere Erklärungen dieſer Erſcheinungen.

257. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterſcheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blaſſer, weißlicher Schimmer, welcher die Geſtalt einer ſchief liegenden Pyramide hat, deren Baſis auf dem Horizonte ſteht, deren Spitze nach dem culminirenden Punkte des Aequators gerichtet iſt. Es erſcheint nur zur Zeit der Nachtgleichen, und zwar im Herbſte vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung iſt dieſe Erſcheinung die entweder ſelbſt leuchtende oder erleuchtete Sonnenatmoſphäre, welche wegen des ſchnellen Umſchwunges der Sonne eine linſenförmige Geſtalt hat. Daß man ſie nicht immer ſieht, kommt von der ſchiefen Lage der Ecliptik gegen den Horizont und der verſchiedenen Dauer der Dämmerung. Allein es läßt ſich nach dem Geſetze der Gravitation darthun, daß ſich die Sonnenatmoſphäre nicht einmal bis zur Mercurbahn erſtreckt, mithin dieſe Erſcheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb dieſe Erſcheinung zu den noch unerklärten zählen.

Neuntes Kapitel.

Feuermeteore.

258. Die ſogenannten feuerigen Lufterſcheinungen gehören zu den räthſelhafteſten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entſtehen und Weſen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypotheſen. In die Claſſe dieſer Erſcheinungen gehören die Irrlichter, Sternſchnuppen und Feuerkugeln.

259. Die **Irrlichter** ſind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thieriſche Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, ſich zu einem vereinigen und ſich wieder trennen. Sie ſind wahrſcheinlich gephosphortes Waſſerſtoffgas, das ſich ſucceſſiv, an verſchiedenen Punkten in verſchiedener Menge entwickelt, und ſobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlenſaurer Luft überſchritten hat, ſich entzündet. Wenn ſie auch ununterbrochen zu leuchten ſcheinen, ſo kommt dieſes doch nur davon her, daß die Luftentwicklung ununterbrochen vor ſich geht, und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes erſetzt wird. Durch den Luftzug können ſolche Theilchen verſchiedene Bewegungen bekommen, ſich heben und ſenken, vertheilen und ſich wieder vereinigen.

260. Jedermann kennt gewiß jene kleinen leuchtenden Körper, die, einem Sterne ähnlich, mit bedeutender Geſchwindigkeit am Himmel fortſchießen, und in wenigen Secunden verſchwinden. Man nennt ſie **Sternſchnuppen**. Sie erſcheinen in ſehr verſchiedener Größe, und zwar wie Sterne der dritten bis ſechsten Größe, oft ſogar ſo glänzend wie Jupiter und Venus. Bei einigen derſelben bleiben Schweife zurück, welche einen Theil der zurückgelegten Bahn mit einem blaſſen Lichte bezeichnen, aber auch dieſe verſchwinden ſchon nach wenigen Secunden, und dauern nur bei den größten derſelben Minuten lang. Aus correſpondirenden Beobachtungen hat man die Höhe kennen gelernt, in welcher ſie verſchwinden; dieſe wechſelt von 1 — 50 Meilen. Man glaubt aber, daß einige derſelben bis zur Erde herabfallen, und manche hielten die ſchleimigen, gallertartigen Stoffe, welche man an ſolchen Stellen gefunden hat, für Ueberreſte von Sternſchnuppen, wiewohl ſich gegen eine ſolche Annahme gegründete Einwürfe erheben laſſen. Die Geſchwindigkeit, mit der die Sternſchnuppen ihre Bahn durchlaufen, iſt bedeutend, und man nimmt an, daß ſie in einer Secunde 4—8 Meilen zurücklegen. Meiſtens gehen ſie abwärts, oft auch horizontal, ja man hat ſogar aufwärts fahrende beobachtet, doch ſcheint letzteres eine bloße Anomalie zu ſeyn, die an der betreffenden Sternſchnuppe durch eine partielle Exploſion nach dem Geſetze der Rückwirkung, wie wir dieſes an Raketen bemerken, bewirkt wird. Die Sternſchnuppen ſind jedem Klima und jeder Gegend eigen, und ihr Erſcheinen iſt von der Witterung ganz unabhängig, aber nicht zu allen Zeiten bemerkt man deren, ſelbſt unter ſonſt günſtigen Umſtänden gleich viele. Am häufigſten hat man ſie nun ſeit mehreren Jahren Mitte Novembers und dann Mitte Auguſts beobachtet. Merkwürdig iſt, daß die meiſten derſelben aus der Gegend des Sternbildes des Löwen zu kommen ſcheinen. Ueber die Natur dieſer merkwürdigen Phänomene iſt man noch keineswegs im Reinen. Der jetzt wahrſcheinlichſten Annahme zu Folge ſind die Sternſchnuppen kleine Maſſen, die vom Weltraume mit planetariſcher Geſchwindigkeit nach den Geſetzen der allgemeinen Schwere um die Sonne kreiſen, und wenn ſie in unſere Atmoſphäre kommen, ſich darin entzünden, und ſich dabei entweder ganz

verzehren oder in einer oder der anderen Form herabfallen, oder endlich auch, nachdem ſie den in ihrer Bahn liegenden Theil der Atmoſphäre durchwandert haben, wieder ihren Weg um die Sonne fortſetzen. Daß ſie gerade im November und Auguſt in größerer Zahl bemerkbar ſind, mag davon herrühren, daß die Bahnen ſolcher Körper gerade da einander am nächſten liegen (eine Art Milchſtraße bilden), wo ſich die Erde an der erſten Hälfte des November und Auguſt befindet. (Beobachtungen über Sternſchnuppen von Brandes. Leipzig 1825. Pogg. Ann. 29. 447; 31. 159; 33. 189; 36. 315; 38. 550; 39. 353, 415, 461; 41. 175; Zeitſch. n. F. 2. 11; Schumachers Jahrbuch für 1837. S. 36.)

261. Von ähnlicher, nur der Größe nach verſchiedener Natur ſcheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu ſeyn. Sie erſcheinen oft zugleich mit den Sternſchnuppen, unabhängig von Klima und Wetter, in Geſtalt leuchtender Maſſen in einer ſo bedeutenden Höhe, daß man ſie in weit entfernten Orten zugleich ſehen kann. Sie bewegen ſich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit ſehr großer Geſchwindigkeit abwärts, verſchwinden ohne eine Spur zurückzulaſſen, oder zerſpringen mit großem Getöſe und laſſen eine ſteinartige Maſſe, Meteorſteine, in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorſteine ſind körnig kryſtalliniſche Maſſen, die meiſtens äußerlich mit einer dunkleren Rinde überzogen ſind. Sie beſtehen ganz aus Eiſen oder ſind doch von metalliniſchem Eiſen durchſetzt. Die meiſten ſind ſich in der Zuſammenſetzung ihrer Beſtandtheile ſo ähnlich, wie Stücke derſelben Felſenmaſſe. Sie unterſcheiden ſich von den auf der Erde vorkommenden Körpern durch den Reichthum an Talkerde, durch Seltenheit der Kieſelerde und dem unbedeutenden Gehalt an thonigen und alkaliniſchen Silicaten, beſonders aber durch das Vorkommen des gediegenen Eiſens, das in dieſem Zuſtande auf der Erde nicht gefunden wird, haben aber mit den auf der Erde vorkommenden Mineralkörpern das gemein, daß die einfachen Stoffe und einige Miſchungen derſelben zu mineralogiſchen Arten in beiden auf gleiche Weiſe vereinigt ſind. Ihr ſp. Gewicht beträgt 3.5 — 4.28.

262. Da die Meteorſteine das eigentliche Material der Feuerkugeln ſind, und dieſe, ſo wie die ihnen gleich beſchaffenen Sternſchnuppen, nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe als dem Weltraume angehörige, vielleicht nur zufällig in unſere Atmoſphäre gerathende Körper angeſehen werden müſſen; ſo fallen die Hypotheſen über den atmoſphäriſchen oder lunariſchen Urſprung der Meteorſteine als unhaltbar von ſelbſt weg, und es bleibt nur jene übrig, welche ihnen einen kosmiſchen Urſprung anweiſet. (Fiſcher in den Abhandlungen der Berliner Geſellſchaft 1820, 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denſelben herabgefallenen Maſſen, mit Steindrucktafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. Ideler über den Urſprung der Feuerkugeln und des Nordlichtes. Berlin 1832. v. Holger in Zeitſchrift 7. 129, 279; 9. 323.

v. Schreibers in Zeitſch. n. F. 1. 193. Berzelius in Pogg. Ann. 33, 1. 113. Hoff ebend. 36. 161.)

Zehntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

263. Nicht alle der abgehandelten Meteore ſind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wäſſerigen Niederſchläge, und zum Theile auch die Gewitter ſpielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thieriſchen Haushalt die Hauptrolle; darum beſtimmt auch der Inbegriff derſelben vorzugsweiſe den Charakter des Wetters, und deren Eintreten vorherzuſagen, war von jeher der Gegenſtand vielfacher Bemühungen; aber wir ſind ſelbſt bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zuſtande der Phyſik noch ſehr weit vom Ziele entfernt. Die geringen Fortſchritte in dieſem Punkte erklären ſich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenſtandes. Findet doch der Aſtronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phänomen am Himmel vorherbeſtimmen will, viel Schwierigkeit, ſobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieſes Phänomens, wenn auch nach demſelben Geſetze zuſammenwirken, und der Meteorolog ſoll Phänomene vorherbeſtimmen, die von ſo vielen Urſachen abhängen, welche ſich überdieß nicht einmal der Größe nach beſtimmen laſſen, und nicht geſtatten, von der Intenſität derſelben an einem Orte auf die an einem anderen zu ſchließen. Ohne Zweifel unterliegt jedes die Witterung conſtituirende Phänomen einer periodiſchen Wiederkehr, und könnte man jedes von allen übrigen iſoliren, ſo würde man das Geſetz der Wiederkehr leicht erkennen. Allein das Zugleichſeyn ſo vieler Erſcheinungen, die, wenn auch jede einzelne eine Periode einhaltend, doch mit ihren verſchiedenen Phaſen auf einander fallen, maskirt die Regelmäßigkeit des Ganzen, und läßt die Witterung, beſonders der gemäßigten Zone, als ungeregeltes Chaos erſcheinen. Der Meteorolog, der ſeine Wiſſenſchaft ernſtlich fördern will, muß daher vor allem dahin arbeiten, die Phänomene zu iſoliren, um das Geſetz jedes einzelnen kennen zu lernen. Die Zuſammenſetzung der Geſetze der einzelnen Erſcheinungen wird dann von ſelbſt das Geſetz des Ganzen als Reſultirende geben, der feſt geſchlungene Knoten der Witterungserſcheinungen wird ſich entwirren, und Wetterprophezeihungen werden nicht mehr ein ſo mißliches Geſchäft ſeyn, wie jetzt, wo man höchſtens nur iſolirte Wetterregeln geben kann.

264. Alle derlei Wetterregeln laſſen ſich füglich in zwei Claſſen bringen. In die erſte zählen wir jene, die ſich nicht bloß durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben, ſondern deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgeſetzen begreiflich iſt; in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen ſprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl ſie mit der Theorie nicht im Widerſpruche ſtehen. Solche, die anerkannten Geſetzen oder ſich ſelbſt

widerſprechen, ſollen billig der verdienten Vergeſſenheit überliefert werden.

265. Die ſicherſten Wetterregeln ergeben ſich 1) aus den Luftbewegungen, d. h. aus den Winden und den Oſcillationen des Barometers; 2) aus der Durchſichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmoſphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesſtande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

266. Es iſt aus dem früher Abgehandelten (206) klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen ſehr großen Einfluß nehmen müſſen, weil ſie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Waſſergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die Thatſache, daß warme Winde ſtets von oben, kalte aber von unten einbrechen, und daß die Drehung des Windes faſt immer nach dem im erwähnten Drehungsgeſetze vor ſich gehe; ſo wird man ſich den Zuſammenhang zwiſchen den Winden und den Wärme- und Waſſermeteoren, wie er oben aus einander geſetzt worden iſt, leicht erklären können. Die Wärmeerſcheinungen unſerer Gegenden werden vorzugsweiſe durch die zwei einander abwechſelnd verdrängenden Luftſtröme, dem Polar- und Aequatorialſtrom bedingt, und das längere Verharren in einem und demſelben Strome gibt der Witterung den regelmäßigen Charakter, öfteres Wechſeln aber erzeugt Extreme, wie ſie oft bemerkt werden. Ein dauerndes Befinden im N. Strome bringt kalte Winter und trockene und warme Sommer, ein anhaltendes Verharren des S. Stromes aber naſſe und kühle Sommer und milde Winter. Wechſelt der Strom beim Eintritte des Winters, ſo folgt auf einen heißen Sommer ein milder Winter, oder auf einen kühlen Sommer ein ſtrenger Winter. Wenn aber ein großer Theil von Europa ſich im N. Strome befindet, ſo muß ſich Aſien oder Amerika im S. Strome befinden und umgekehrt, daher es denn auch kommt, daß milde Winter bei uns mit ungewöhnlich ſtrengen in Amerika oder Aſien gleichzeitig ſind, wie dieſes in den Jahren 1821—1822 und 1834—1835 der Fall war, wo das Thermometer während der entſchiedenſten Wintermonate kaum 10 Tage hinter einander unter 0° ſtand, während in Amerika ſelbſt in einer Breite von Mailand das Queckſilber fror. Der durch den Südſtrom unterhaltene milde Winter einer Gegend unterſtützt die erwärmende Wirkung der Sonne im Frühlinge, während dieſe Wirkung dort, wo ein ſtrenger Winter herrſcht, durch die zum Schmelzen des Eiſes nöthige Wärmebildung nicht Statt hat, die Wärmedifferenz beider Gegenden wird dadurch geſteigert, der Druck der Luft in der kalten Gegend vermehrt, und endlich dahin gebracht, daß der N. Strom den S. Strom überwältigt, und ſich über die Gegenden ergießt, welche im Genuſſe eines milden Winters und eines ſchönen Frühlingsanfanges ſind. Daher kommt es, daß oft auf milde Winter ein kalter Frühling folgt, und den gemeinen Mann auf die Meinung bringt, es müſſe ſich die Natur eines gewiſſen Maßes von Kälte im Laufe eines Jahres entledigen.

267. Das **Barometer** wird mit Recht als einer der zuverläſſigſten Wetterpropheten angeſehen; denn man kann faſt immer mit Sicherheit von ſtarken Veränderungen im Barometerſtande auf Aenderungen im Charakter der Witterung ſchließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter, und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer ſchlechten, das Steigen desſelben als Vorzeichen einer günſtigen Witterung. Ungewöhnlich ſtarkes und ſchnelles Fallen des Barometers muß mit ſtarken Störungen des Gleichgewichtes verbunden ſeyn, und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorſtehenden oder ſchon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrſchenden Sturmes angeſehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus deſſen Stande abnehmen zu können, ob es etwa Zeit ſey, ſich auf einen bevorſtehenden Sturm vorzubereiten. Da der Uebergang der Waſſerdünſte in tropfbaren Zuſtand eine Verminderung des Luftdruckes erzeugen muß, weil wohl die Dünſte, nicht aber die Waſſertropfen, den Druck der Atmoſphäre vermehren helfen; ſo muß auch wohl in der Regel ein Sinken des Barometers ſchlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten laſſen, jedoch wird dieſe Erwartung nicht ſelten getäuſcht, weil feuchte Luft nicht immer ſo weit gebracht wird, daß ihr Waſſergehalt Regen erzeugen muß, und auch bei eintretender Kälte die ſchon vorhandene Feuchtigkeit ausgeſchieden werden kann. Nach v. **Buch** unterbleiben Waſſerniederſchläge nicht, ſobald das Barometer bei irgend einem Winde unter die dieſem Winde entſprechende mittlere Höhe herabgeſunken iſt. Da auf öſtliche Winde meiſtens ſüdliche folgen, und durch Abkühlung der letzteren wäſſerige Niederſchläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; ſo muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen. Auf der Weſtſeite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein weſtlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umſchlägt, wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird; ſo muß bei ſolchen Winden das Barometer während oder vor dem Regen ſteigen.

268. Die **Durchſichtigkeit** und **Farbe** der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszuſtande des in der Luft enthaltenen Waſſers ab, und daher kann man von jener auf dieſe und auf die leicht ſich daraus ergebenden Folgen ſchließen. So lange das Waſſer im vollkommen expanſiblen Zuſtande in der Luft ſchwebt, macht es dieſelbe deſto durchſichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher ſieht man die aus der großen Durchſichtigkeit der Luft ſich ergebende, ſcheinbare Nähe ferner Gegenſtände, das ſchwarze Ausſehen von Wäldern ꝛc. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieſer großen Durchſichtigkeit der Luft mag auch die ſtärker erwärmende Kraft der Sonne herrühren, und darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung anſieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche ſelbſt die kleineren Sterne ſichtbar werden, hat dieſelbe Bedeutung; ein ſanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günſtigen Witterung hoffen. Das Erblaſſen des Firmamentes deu-

tet den Anfang des Uebergangs der Dünſte in kleine Tröpfchen an, und iſt darum ein Vorbote wäſſeriger Niederſchläge. Es wird meiſtens durch den in oberen Regionen ſchon eingetretenen Südwind verurſacht.

269. Schon die Alten haben das Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, beſonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man ſieht leicht ein, daß dieſes mit Grund geſchah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft und daher auch auf die damit zuſammenhängenden Phänomene ſchließen kann. Geht die Sonne, der Mond, oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, ſo herrſcht eine ſtarke Strahlenbrechung und die Luft enthält viele Dünſte; dasſelbe iſt der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erſcheint. Eine verticale Nebenſonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Geſtirne, beſonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, ſo mag der übrige Himmel wie immer rein ſeyn, es iſt doch ein baldiger wäſſeriger Niederſchlag zu beſorgen, weil ſchon ein ſüdlicher (ſüdöſtlicher) Wind im Anzuge iſt. Ja ſelbſt wenn directer Oſtwind herrſcht, ſo zeigen doch die ſchon an der Oſtſeite vorhandenen hohen Wolken an, daß der in der Regel ihn ablöſende ſüdliche Wind dieſe Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein ſolcher Sonnenaufgang nicht ſelten der Witterungsänderung um 2 — 3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünſte am weſtlichen Himmel, und da im mittleren Europa die weſtlichen Winde die herrſchenden ſind, die Wahrſcheinlichkeit, daß dieſes Uebermaß auch bald unſeren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derſelben, Höfe um ſie, um die Sonne und den Mond müſſen, ihrer Natur nach, naſſe Witterung befürchten laſſen, und zwar letzteres um ſo mehr, je größer ſie ſind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

270. Ein faſt immer ſicheres Vorzeichen der bevorſtehenden Witterung gibt die Geſtalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasſelbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geſchichtete Federwolken, beſonders am weſtlichen Himmel, drohen mit anhaltendem ſanften Landregen. Wenn Haufenwolken früh entſtehen, bis Mittag ſich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert ſchönes Wetter fort; ſobald ſie aber der Nachmittag nicht mehr zu überwältigen vermag, und der nächtliche Himmel noch mehrere derſelben antrifft, gehen ſie in die geſchichtete Haufenwolke über und bringen Regen. Die iſolirt am Himmel ſchwebende Haufenwolke iſt überhaupt ein günſtiges Wetterzeichen, weil ſie das Uebergewicht der von der Erde aufſteigenden, warmen Luftſtröme über den Einfluß der Winde beweiſet; darum ſind ſolche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken laſſen wenig befürchten, wenn ſie am öſtlichen Himmel ſchweben, deſto mehr aber, wenn ſie an der Weſtſeite ſtehen, weil ſie im erſten Falle bei dem entſchiedenen Uebergewichte der weſtlichen Winde von uns hinweg-, im

zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum iſt auch ein Regenbogen am Abende (öſtliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein ſchlechtes Vorzeichen. Tief ſchwebende Wolken ſind entweder ſehr dicht und daher ihrer Zerſetzung ſehr nahe, oder ſie ſetzen eine große Feuchtigkeit der Luft voraus; ſie ſind daher immer von übler Vorbedeutung, beſonders wenn ſie ſich in der Richtung befinden, von woher die herrſchenden Winde blaſen. Darum befürchtet man ſchlechtes Wetter, wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erſcheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines beſſeren, als bis ſich die Berge an der Regenſeite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewiſſe Berge, wie z. B. der Zopten in Schleſien, die nordweſtliche Gebirgskette um Wien als Wetteranzeiger. Das Waſſerziehen der Sonne ſetzt ſehr tief ſchwebende feine Wolken voraus, und iſt darum ein Regenzeichen.

271. Ungewöhnlich große Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft in den unteren Regionen läßt auf naſſe oder trockene Witterung für die Zukunft ſchließen. Darum ſind Hygrometerbeobachtungen ſelbſt in dieſer Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunkt des Schwefelätherhygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispunkte liegt, hat man ſelbſt bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu beſorgen, weil die Erkältung ohne Nebelbildung oder Wind nicht unter dieſen Punkt fortſchreitet, und bei eintretendem Nebel oder Wind faſt nie ein Reif ſich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit ſchließen läßt, verkündet naſſe Witterung. Darum iſt das Rauchen der Wälder, das Niederſchlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beſchlagen der Mauern und Steine, das Nachlaſſen ſteifer Papiere, das Zerfließen der Salze, das ſtarke Riechen des in der Luft liegenden Chlorkalkes, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter muſikaliſcher Inſtrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken ꝛc., oft von übler Vorbedeutung.

272. Plötzliche Aenderung in der Stärke und im Zeichen der Luftelectricität führt in der Regel eine Aenderung im Charakter der Witterung mit ſich. Das Verſchwinden der Luftelectricität deutet auf bevorſtehenden Wind, nicht ſelten auf wäſſerige Niederſchläge.

273. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen ſo großen Werth ſetzt, und die ſogar zum Sprichworte geworden ſind, bezieht ſich auf den Zuſammenhang der Meteore und ihre periodiſche Wiederkehr, und es wird dabei ſtets von der Witterung der Gegenwart auf die Zukunft geſchloſſen. Viele dieſer Regeln ſtehen unter ſich im Widerſpruche, andere ſetzen einen Zuſammenhang zwiſchen Dingen voraus, die von einander unabhängig ſind, andere haben allerdings Grund und ſind allein einer näheren Erwähnung werth. — Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß ſteht der Winter mit dem Frühlinge mittelſt eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbſte mittelſt eines Nachſommers in Verbindung. Weder der Nachſommer noch der Nachwinter tritt immer zur ſelben Zeit ein, unterbleibt aber in der Regel nicht. Man ſieht es als ein günſtiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter ſchnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen

nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März ſo hoch anſetzt (Märzſtaub iſt goldeswerth), ſchöne Witterung im Februar ungern ſieht ꝛc. Im ſüdlichen Deutſchland äußern die tropiſchen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Waſſerniederſchläge. Wenn dieſe eintreten, ſo beginnen ſie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieſer Zeit für ein Vorzeichen eines naſſen Sommers. Ein naſſer Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbſt, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter dieſen Umſtänden während des Frühlings und Sommers oder während des Herbſtes im Südſtrome befinden, und daher bei einem Wechſel in den Nordſtrom kommen. Morgenregen gelten faſt allgemein als ſchnell vorübergehend, weil die faſt immer herrſchenden Weſtwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angeſehen, weil ſie durch die nächtliche Kühle noch mehr verſtärkt werden. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, ſo bleibt der Südwind herrſchend, und wir haben eine Wiederholung eines Waſſerniederſchlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter faſt immer ein zweites, wenn nicht auf das erſte eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viele Luftfeuchtigkeit ſchließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues iſt ein Zeichen von herrſchenden Winden oder von zu trüber Luft, und deutet auf baldigen Regen.

274. Mehrere fleißige Beobachter, wie Toaldo, Pilgram, Schübler, Eiſenlohr und Flaugergues, wollen auch einen Zuſammenhang zwiſchen der Witterung und dem Mondesſtande beobachtet haben, und zwar hat Schübler gezeigt, daß ſich dieſer Einfluß des Mondes auf die Regenmenge, Windesrichtung, den Barometerſtand und Witterungsveränderung beziehe. Eine Vergleichung vieljähriger Beobachtungen an verſchiedenen Orten lehrt, daß es am Tage des letzten Viertels am wenigſten regne, und daß die Regenmenge allmälig wachſe, am Tage, wo der Mond im zweiten Octanten ſteht, das Maximum erreiche, und von da an wieder abnehme. Vom Neumonde bis zum zweiten Octanten werden in Deutſchland die Süd- und Weſtwinde, um das letzte Viertel hingegen die Oſt- und Nordwinde häufiger. Im letzten Viertel ſteht im Durchſchnitte das Barometer am höchſten, im zweiten Octanten am niedrigſten, und es ändert ſich die Witterung am öfteſten, wenn ſich der Mond in der Erdnähe befindet; ſeine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Aequinoctien, die Luniſtitien.

Nach Toaldo verhält ſich die Wahrſcheinlichkeit, daß ſich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6 : 1, beim Neumonde nahe wie 6 : 1, beim Vollmonde wie 5 : 1, bei der Erdferne wie 4 : 1, bei den Vierteln nahe wie 2 : 1, bei den Aequinoctien wie 2 : 1. (*Essai météorologique. Chambery* 1784. 131.) Nach Schübler verhält ſich die Wirkſamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000 ; 823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000 : 588. (Ueber den Einfluß des Mondes auf die Aenderungen der Atm. Leipzig v. Schübler. 1830.

Kaſt. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161. Eiſenlohr in Pogg. Ann. 30. 72; 35. 141 und 309.)

275. Daß viele Thiere die bevorſtehende Witterung durch ihr Benehmen anzeigen, iſt bekannt. Es erklärt ſich dieſes zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieſer ſtets im Freien lebenden Weſen, theils aus dem Umſtande, daß ſie ihre Nahrung bei bevorſtehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen ſehr niedrig, weil ſie in der Nähe des Bodens die Inſecten, welche ſtets die trockenſte und wärmſte Luft ſuchen, und ihnen zur Nahrung dienen, am leichteſten antreffen; Fiſche tauchen aus demſelben Grunde öfter auf, und haſchen die über dem Waſſer ſchwebenden Inſecten; Möven ſammeln ſich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fiſche habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meiſtens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil dieſe Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen, und ſich erwarten läßt, dieſe werde ſich auch bald ſenken und die untere Luft erwärmen. Eben ſo ſieht man das Wegziehen derſelben als Zeichen der bevorſtehenden Wärmeabnahme an, weil die in den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alſogleich verlaſſen, ſobald kalte Luft herrſchend wird, und durch ihr Ziehen in ſüdlichere Gegenden auch die daſelbſt wohnenden ans Fortziehen erinnern ꝛc.

276. Oft geſchieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengeſetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel ſetzen, welchem von ihnen er mehr trauen ſoll. In einem ſolchen Falle läßt ſich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieſer Zeichen über die anderen von entſchiedenem Uebergewichte iſt; allein ſelbſt im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrſcheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrſcheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der phyſiſchen Aſtronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805. Syſtematiſcher Grundriß der Atmoſphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813. Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. 2. Abtheilung. Heidelberg 1820. Deſſelben Handbuch der Naturlehre. 2. Thl. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kaſtner. Erlangen 1823. *Meteorological essays and observations by I. Daniell. London* 1833. Kämtz Lehrbuch der Meteorologie. 3. Bd. Halle 1831 und 1832. Die Atmoſphäre und ihre vorzüglichſten Erſcheinungen von Dr. J. F. Günther. Frankf. a. M. 1835. Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Abriß einer Geſchichte der neueren Fortſchritte und des gegenwärtigen Zuſtandes der Meteorologie von J. Forbes, überſetzt und ergänzt von Mahlmann. Berlin 1836.)

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Register.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

Abdrehen 92.
Abend (Weſt) 598.
Abendröthe 744.
Aberration 618.
Abfall 669.
Abplattung 608.
Abſidenlinie 612.
Abſorption der Gaſe 146, des Lichtes 284, iſt eine Wärmequelle 450, Abſ. der Wärme 416.
Abſtoßung bei Flüſſigkeiten größer als die Anziehung 97, der Wärme 436, electriſche 499, magnetiſche 470, 487.
Abweichung, optiſche, wegen der Kugelgeſtalt 275, chromatiſche 279, magnetiſche 471, Geſetze derſelben 492, und eigentliche Störungen 493, aſtronomiſche 602.
Abweichungskreis, optiſcher 279, aſtronomiſcher 601.
Acceleration 163.
Achromatismus 280, achrom. Prisma 280, achrom. Linſen 281.
Actinometer 451.
Adhäſion zwiſchen feſten und tropfbaren 98, zwiſchen feſten und gasförmigen Körpern 145.
Adiathermanſie 415.
Aequator, magnetiſcher 471, magn. Erdäquator 494, aſtron. 601, Erdäquator 605.
Aequatorhöhe 602.
Aequinoctien 601, 611.
Aequivalente, chem. und electriſche, ſ. Atomengewichte.
Aërodynamik, ſ. Bewegung.
Aëroſtatik, ſ. Gleichgewicht.
Aether (Schwefel-) 53.
Aether (Licht-) 378.
Aethyl 53.
Aethrioſkop 744.
Affinität 28.
Aggregationszuſtand 25, Aenderungen desſelben 436.
Akkord 205.
Akuſtik 204.
Alkalien 49, alkaliniſche Erden 49.
Alkohol 53, 54, ſchützt vor Fäulniß 55, gibt verdünnt ein homogenes Farbenbild 269, 461.
Amalgam 43, Kienmayer'ſches 502.
Ammoniak 49, ſchützt vor Fäulniß 55.
Amplitude der Schwingung 384.
Analyſe des Lichtes 264.
Anamorphoſen, katoptriſche 260.
Anemometer 714.
Anwandlung zur leichten Reflexion oder Transmiſſion 378.
Anziehung 6, 27, allgemeine 637, chemiſche 28, feſter Körper auf feſte 86, auf flüſſige 98, zwiſchen flüſſigen 98, magnetiſche 469, electriſche 498.
Aplanatiſche Linſen, ſ. Linſen.
Apogäum 612.
Apparat, electro-magnetiſcher 656.
Aräometer 107.
Armatur einer Franklin'ſchen Tafel oder Leidnerflaſche 512, 513, des Magnetes 477.
Aſtronomie 598.
Atmometer 726.
Atmoſphäre, terreſtriſche. Höhe derſelben 691, Veränderungen ihrer Beſtandtheile 692, Strömungen 713, Oſcillationen 719, electriſche 503, Erſcheinungen derſelben 509, der anderen Planeten, ſ. dieſelben.
Atmoſphäriſche Luft, ſ. Luft.
Atom 21.
Atomengewicht, chemiſches 33, electriſches 544.
Atomiſt 22.

Atwood's Fallmaſchine 163.
Aufgeſchwemmtes Land 675.
Aufſteigung, gerade 603.
Auge 290.
Ausdehnbarkeit 15.
Ausdehnſame Körper, ſ. Gas.
Ausdehnſamkeit der Gaſe 118, iſt beſtändig 121, wächſt mit dem Drucke 122, durch Wärme 123, abſolute und ſpecifiſche 132, der Dünſte 148.
Ausdehnung 4, 10, feſter Körper durch die Wärme 430, lineare 431, kubiſche 431, flüſſiger Körper 433, des Waſſers insbeſondere 434.
Ausflußgeſchwindigkeit, ſ. Geſchwindigkeit.
Ausflußmenge des Waſſers, berechnete 190, aus einer Seitenwand 190.
Auslader 524.
Auzometer 319.
Axe, freie der Drehung 177, der Schwingungspunkte 169, Kryſtallaxen 81, optiſche der doppelten Brechung 323, wahre, ſcheinbare 331, der Welt 600, der Erde 605.
Azimuth 603.
Azimuthalkreis 601.
Azot, ſ. Stickſtoff.

B.

Bahn der Planeten 619, der Sonne 611, des Mondes 624.
Barometer 118, Differenzialbarometer 128, Correction wegen der Wärme 121, dient zu Höhenmeſſungen 664, zu Wetteranzeigen 758, periodiſche Veränderungen ſeines Standes 721, phyſiſche, dynamiſche Fluth und Ebbe 722, unregelmäßige Schwankungen und deren Urſachen 724, mittlerer Stand 724.
Barometerprobe, ſ. Luftpumpe.
Baſen 48, Verſchiedenheit derſelben 49.
Bathometer 658.
Batterie, electriſche 513.
Becherapparat, ſ. Säule.
Beobachten 4.
Berg, ſ. Gebirg.
Bergkryſtall, deſſen optiſche Eigenſchaften 340, 352, 407.
Bergſturz 682.
Beſtandtheile, chemiſche 29.
Beugung der Wellen 199, des Lichtes 357, Art, Beugungsverſuche anzuſtellen 357, Erſcheinungen bei einer Spalte im durchgelaſſenen weißen 358, im homogenen Lichte 359, bei zwei Spaltöffnungen 360, bei mehreren 360, bei vielen 361, bei verſchiedenen Gittern 362, im reflectirten Lichte 362, an einem Drahte 363, Erklärung 392.
Beugungsſpector, deren Claſſen 360.
Beweglichkeit 13.
Bewegung, abſolute, relative 158, geradlinige, krummlinige, progreſſive 158, drehende 159, gleichförmige 160, beſchleunigte 161, verzögerte 163, durch momentane 160, durch continuirlich wirkende Kräfte 161, durch beide zuſammen 171, Hinderniſſe derſelben 182, der tropfb. Flüſſigkeiten 187, ausdehnſamer Körper 201, Zuſammenſetzung und Zerlegung 161, tägliche 599, jährliche 599.
Bewegungsgröße 15.
Bild 252, Lage und Größe desſelben bei Spiegeln 254, bei Linſen 278, im Auge 291.
Bläue der Luft 744, ihre Bedeutung 758.
Blasbalg 142.
Blasinſtrumente, ſ. Pfeifen.
Blitz 738.
Blitzableiter 739.
Blitzröhren 738.
Bodendruck 100.
Bor 41.
Brechbarkeit des Lichtes 260, iſt für jeden farbigen Strahl eine andere 265.
Brechung, gewöhnliche, des Lichtes, 260, Geſetze derſelben 261, in einem Prisma 263. in ſphäriſchen Linſen 273, doppelte 323, Geſetze derſelben im Doppelſpathe 324, in anderen Kryſtallen 328, in gepreßtem Glaſe 332, coniſche 331, theoretiſche Erklärung 398, 401, der Wärme 415.
Brechungsexponent 261.
Brechungsvermögen 262.
Breite, aſtron. 603, geogr. 605.
Breitenkreis 601.
Brenngläſer 276.
Brennſpiegel 258.
Brennlinie, Brennpunkt, Brennweite, ſ. Brenngläſer, Brennſpiegel.
Brennſtoff, ſ. Verbrennen.

Brillen, cylindriſche, iſochromatiſche, periſkopiſche, Sattelbrillen 293, 294.
Brillenmeſſer 407.
Brom 40.

C.

Calmen 715.
Calorimeter 426.
Camera clara, lucida, ſ. Kammer.
Capacität 424.
Capillarität 113.
Caſſegrain's Fernrohr 317.
Centralbewegung 173, Geſetze derſelben 174, werden von den Planeten befolgt 622, 635.
Centralkräfte, Centripetalkraft 173.
Centrum, ſ. Mittelpunkt.
Ceres 632.
Chamſin 719.
Chemie 8.
Chemiſche Beſchaffenheit der Körper 27.
Chladniſche Figuren, ſ. Klangfiguren.
Chlor 39.
Chromatiſche Tonleiter, ſ. Tonleiter.
Coercitivkraft, magnetiſche 472, Verſchiedenheit derſelben 488.
Cohärenz, Cohärenzkraft 78.
Collectivgläſer, ſ. Linſen.
Coluren 611.
Combinationston, ſ. Ton, ſubjectiver.
Comma 216.
Communicationsgefäße 100; Gleichgewicht ungleichartiger Flüſſigkeiten in ſelben 101.
Communicationsrohr 221.
Commutator 561.
Compenſationen am Pendel, ſ. Pendel.
Compreſſionspumpe 130.
Concavlinſen, ſ. Linſen.
Condenſator 515.
Conductor 502.
Conjunction 619, 621.
Conſtellation 639.
Conſonanz 205, 214, Grund derſelben 246.
Contactelectricität 518.
Continent 644, ſein Inneres 673.
Convexſpiegel 259, Convexlinſen 274.
Copernicus Weltſyſtem 622.
Crownglas, ſ. Glas.
Culmination 601.
Cyanometer 744.

D.

Dampf 238, practiſche Anwendung 444.
Dampfmaſchinen 445, Erfindung und Verbeſſerung 446, Berechnung der Wirkung 448, Bedarf an Brennmateriale 449.
Daniell's Pyrometer 20, Hygrometer 153.
Declination, ſ. Abweichung.
Declinatorum 490.
Dehnbarkeit, ihre Größe und ihr Maß 89.
Deſtilliren 444.
Deutlichkeit 252, ſ. Abweichung, Mikroſkope, Fernröhre.
Diathermanſie 415.
Diaphragma 308, 317.
Dichroismus 333.
Dichte 24, verſchiedene einer tropfbaren Flüſſigkeit 96, 435, Beſtimmung derſelben 106, der Gaſe 134, der Dünſte 135, 150, der Planeten 638.
Dienung 662.
Differenzialbarometer 128.
Differenzialthermometer 412.
Digeſtor, papiniſcher 439.
Diſſonanz 205, 214.
Donner 738.
Doppelſpath, ſ. doppelte Brechung.
Doppelſterne 641.
Doppelbrechung, ſ. Brechung.
Drachenmonat, ſ. Mondmonat.
Drehpunkt, des Auges 295.
Drehwage, magnetiſche 484, electriſche 505.
Druck einer Flüſſigkeit, deſſen Fortpflanzung nach allen Richtungen 93, auf den Boden 100, auf die Seitenwände 101, auf eingetauchte Körper 102, hydrodynamiſcher 188, der Luft 118, ſein Einfluß auf das Ausſtrömen des Waſſers 192, der Luft 202.
Druckpumpe 143.
Dünen 657.
Dünſte 26, Eigenſchaften derſelben 147, abſolute Spannkraft derſelben 148, ſpecifiſche 150, in der Luft 149, Quelle der Wärme 440, Verhalten derſelben in der Atmoſphäre 726, ihre Bildung 441, machen die Luft durchſichtiger 758, ſind gute Leiter der E 499, Urſachen, die ſie in tropfbaren Zuſtand überführen 727.

Duplicator 517.
Durchgang der Blätter, ſ. Kryſtallform.
Durchkreuzung, ſ. Interferenz.
Durchſichtigkeit, ſpecifiſche 284, der Luft 758.
Dynamik 57, 158.
Dynamiſten 22.
Dynamometer 319.

E.

Ebbe und Fluth 660, Erklärung 661, in der Atmoſphäre 722.
Ebene, ſchiefe, 75.
Echo 212.
Eigenſchaften, allgemeine der Körper 10.
Einfallsloth 254.
Einfallswinkel 254.
Einheit der Ausdehnung 10, 11, des Gewichtes 23, der Dichte 24, der Kräfte überhaupt 14, der Feuchtigkeit 152, der Tonſchwingungen 215, der Weiße, Bläue ꝛc. 287, der abſoluten und ſpecifiſchen Wärme 425.
Ekliptik 601, ihre Schiefe 611.
Elaſticität 87, vollkommene, unvollkommene, Größe und Modulus derſelben 87, Verhältniß der Dehnung zur Kraft 88.
Electricität 498, Glas-, Harz-, poſitive, negative 500, galvaniſche oder voltaiſche 518, Luftelectricität 736, Quellen der E 571, Mittheilung 498, Vertheilung 509, E im Gleichgewichte 504, bloß an der Oberfläche angehäuft 507, E in Bewegung 524, Geſchwindigkeit derſelben 525, Quantität und Intenſität derſelben 526, Wirkungen derſelben 528, nämlich Stoß 528, Zuckungen 529, Licht- 531, Wärme- 534, mechaniſche 536, chemiſche Kraft derſelben 537, magnetiſche Wirkungen der E und zwar auf einen Magnet 549, auf weiches Eiſen 547, auf einen beweglichen Polardraht 553, dadurch erzeugte rotirende Bewegung 555, Maß der Quantität derſelben 550, Erregung der E durch Reiben 571, durch Druck 573, durch Trennung 574, durch Berührung 580, durch Wärme 586.
Electriſiren, ſ. Electricität, Quellen derſelben.
Electriſirmaſchine 502.
Electrolyte 538.
Electromagnetismus 546.
Electrometeore 736.
Electrometer, ſ. Electroſkop.
Electrophor 514.
Electroſkop von Bennet, Korkkugel Elect., von Volta, Henley 504, Bohnenberger, Becquerel 522.
Element, chemiſches 29, magnetiſches 472.
Elemente, chemiſche, ſ. Körper einfache.
Elevation des Wurfes 172.
Eliasfeuer 737.
Emanationshypotheſe 374, Gründe gegen ſelbe 376, ihre Erklärung der optiſchen Erſcheinungen 375, 377.
Emiſſionsvermögen für die Wärme, in wie fern es von der Oberfläche, von der Neigung der ausfahrenden Wärmeſtrahlen gegen die Oberfläche abhängt 414.
Endosme 115.
Entfernung, ſcheinbare 296, der Fixſterne, der Sonne der Planeten, ſ. dieſe.
Epicykel 620.
Erdaxe, ſ. Axe.
Erdbeben 686.
Erde, ihr Magnetismus 490, ihre Wirkung auf einen Polardraht 546, ihre Geſtalt 604, Größe 609, tägliche 604, jährliche Bewegung 612, Ergebniſſe aus beiden Bewegungen 613, Abplattung 608, Dichte derſelben 642, ihre Hauptgebirge 672, Wüſten 669, Meere 656, Veränderungen, die ſie erleidet 680, durch Luft 681, durch Waſſer 681, Feuer 682, Kunſtfleiß 680.
Erden 49.
Erdgürtel, ſ. Zone.
Erdtrombe 742.
Erfahrungsnaturlehre 8.
Ergänzungstheilchen 84.
Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes 182, der Flächen 174.
Erhebungen 688.
Erkaltung, ihre Geſetze 422.
Erleuchtung 282.
Erſcheinung (Phänomen) 3, deren Erklärung 5.

Erſchütterung, electr., durch eine Maſchine oder Flaſche, eine Volta'ſche Säule 528, an den Cruralnerven der Fröſche vorzüglich bemerkbar 530.
Erwärmung, Quelle der E 586.
Eſſiggährung, ſ. Gährung.
Eudiometer 38.
Eudiometriſche Verſuche 38.
Exosme, ſ. Endosme.
Expanſionsmaſchine, ſ. Dampfmaſchine.
Expanſivkraft, ſ. Ausdehnſamkeit.
Experiment, Experimentiren 4.

F.

Fall, freier 163, über die ſchiefe Ebene 164, über zwei an einander grenzende ſchiefe Ebenen 165, in einem widerſtehenden Mittel 187.
Fallmaſchine, Atwoodiſche 163.
Farben, objective 298, complementäre 266, dünner Körper 369, Verſuche hierüber im weißen 370, im homogenen Lichte 371, Erklärung 386, im polariſirten Lichte 349, 355, ſubjective oder phyſiologiſche 300.
Farbenbild, prismatiſches 264, aus homogenem Lichte 267.
Farbenkreiſel 299.
Farbenmeſſer 349.
Farbenringe, Newton'ſche 370, Erklärung derſelben 371, 409, polariſirte 350, Erklärung derſelben 408, electriſche 541, ſ. Farben dünner Körper, Licht, polariſirtes.
Farbenzerſtreuung 271, Erklärung 404.
Färbung der Bilder 279.
Fäulniß 55.
Federwolke, ſ. Wolken.
Fernröhre 312, dioptriſche 312, katoptriſche 316, Objectiv 312, Oculare 317, aſtronomiſche 314, holländiſche 313, Erdfernrohr 315, Herſchel'ſches 316, Gregoriſches 317, Newton'ſches 317, Caſſegrain'ſches 317, Prüfung 318.
Feſte Körper, ſ. Körper.
Feſtigkeit der Metalle, Hölzer und Stricke 90, 91.
Feuchtigkeitsgrad 152.
Feuer, ſ. Flamme, Verbrennen.
Feuerkugeln 755.
Feuermeteore 753.
Feuerſpritze 143.
Figur 10, Lichtenberg'ſche 500.
Finſterniß 252.
Firmament 758, Farbe desſelben 743.
Fiſche, electriſche 591.
Fixſterne, ſ. Sterne.
Fläche, cauſtiſche 257.
Flamme 460, Geſtalt 461, Farbe 461, Leuchtvermögen 462, Hitzegrad derſelben 463, ſ. Verbrennen.
Fliehkraft 176.
Flintglas, ſ. Glas.
Flötenwerkpfeifen, ſ. Pfeifen.
Flötzgebirge 675.
Fluor 41.
Flußſäure 48.
Flüſſe 650, Lage ihrer Quellen und ihre Krümmungen 650, Gefälle 650, Waſſerfälle 651, Breite ihres Bettes 651, Waſſermenge 652, Geſchwindigkeit 652, Geſtalt der Oberfläche 653, Farbe und Reinheit 653.
Flüſſigkeit 25, Maß derſelben 97, ihre Zuſammendrückbarkeit 95, Kräfte, welche darauf wirken 99, magnetiſche, electriſche, ſ. Magnetismus, Electricität.
Fluth, ſ. Ebbe.
Fraunhofer'ſche Linien 268.
Frenel'ſche Fläche 331, Fresnel'ſches Parallelepiped 345.
Frühlingsbrunnen 647.
Funke, ſ. Flamme, Licht, electriſches.
Funkeln der Sterne 745.

G.

Gährung, weinige 54, Eſſig- 55, faule Gährung 55.
Gänge 678.
Galvani, Entdecker der galvaniſchen E 530.
Galvanometer, ſ. Multiplicator.
Gaſe 26, können tropfbar dargeſtellt werden 26, werden abſorbirt 145, Mittel, ſie von Flüſſigkeiten zu befreien 146, ihr Gleichgewicht 137, Bewegung 201, Ausdehnſamkeit 121.
Gaſometer 142.
Gebirge 672, plutoniſche, neptuniſche 674, Ur-, Uebergang-, Flötzgebirge, aufgeſchwemmtes Land, obere, übermittlere, mittlere, untermittlere 675, Trachyt-, Baſalt- und Lavagebirge 674, ihr Entſtehen 687,

ihr relatives Alter 688, ihre Höhe 672.
Gebirgsſyſteme 672.
Gefäßbarometer, ſ. Barometer.
Gefüge, ſ. Kryſtalliſation.
Generator, ſ. Dampfmaſchine.
Geographie, phyſiſche 643.
Geſchwindigkeit 14, 160, bei der gleichförmigen Bewegung 160, bei der beſchleunigten 162, Ausflußgeſchwindigkeit des Waſſers 189, in Röhrenleitungen 191, der Gaſe 201, in Röhren 202, des Schalles 209, des Lichtes 251, der ſtrahlenden Wärme 413, der Electricität 525.
Geſichtsfeld, ſ. Fernröhre, Mikroſkope.
Geſichtswinkel 295.
Gewicht 23, abſolutes 24, ſpecifiſches 24, Art es auszudrücken 25, iſt die Reſultirende der Schwerkräfte 66, Beſtimmung desſelben bei Waſſer und anderen Flüſſigkeiten 106, bei feſten Körpern 107, bei Gaſen 133.
Gewitter 737, Urſache und Erſcheinungen 738.
Gleichgewicht 57, ſtabiles, labiles 68, der Kräfte an Maſchinen 69, der Molecularkräfte an feſten Körpern 78, der Flüſſigkeiten überhaupt 93, ſchwerer unzuſammendrückbaren, nicht adhärirenden Flüſſigkeiten 99, ſchwerer zuſammendrückbaren, adhärirenden Flüſſigkeiten 110, feſter Körper in Flüſſigkeiten 102, der Gaſe 117, 137, der Atmoſphäre 138, der durch undurchdringliche Scheidewände getrennten Gaſe 141, der durch permeable Wände getrennten 143, der freien und abſorbirten unter einander 145, der Dünſte 147, der Wärme 424, bewegliches der Wärme 419, 420, der magnetiſchen Kräfte 478, der Electricität 504.
Glühlampe 458.
Golphſtrom 662.
Goniometer 255.
Gramme 23.
Gravitation 637.
Große, ſcheinbare 295.
Grundſtoff, ſ. Körper, einfache.
Grundton 214.
Gyrotrop 561.

H.

Haarröhrchen 113, Theorie der Erſcheinungen in denſelben 114, Erklärung mehrerer Erſcheinungen 115.
Hagel 740.
Hagelableiter 741.
Halbleiter, ſ. Leiter.
Halbmeſſer der Undeutlichkeit 279.
Halbſchatten 252.
Harmattan 719.
Harmonika, chemiſche 224.
Harmonie 205.
Härte 89.
Haufenwolke, ſ. Wolken.
Hauptſchnitt 324.
Hausrath, chemiſcher 35.
Hebel 70.
Heber, anatomiſcher 101, Stech- 141, gekrümmter 141, Stoßheber 192.
Heberbarometer, ſ. Barometer.
Helena, St. 737.
Helioſtat 255.
Heliotrop 255.
Heronsball, Heronsbrunn 142.
Heß's Waſſermaſchine 177.
Himmelskugel 598.
Hinderniß 159, der Bewegung 182.
Höfe, Erklärung 747.
Höhe, aſtronomiſche 603, terreſtriſche, wird vorzüglich durch den Luftdruck beſtimmt 664.
Höhenrauch 731.
Höhlen, werden oft aus Pendelſch. vermuthet 679, ihr Vorkommen 679.
Hohlſpiegel 257.
Holzmann's Metallthermometer 433.
Horizontale Linie, Ebene 23.
Hören 245.
Hörrohr 221.
Hungerquellen, ſ. Quellen.
Hydrat, ſ. Waſſer.
Hydrogen, ſ. Waſſerſtoff.
Hydroſtatik, ſ. Gleichgewicht der Flüſſigkeiten.
Hydrothionſäure, ſ. Schwefelwaſſerſtoff.
Hygrometer 152, von Herapath, Dalton, Daniell 153, Körner 154, Döbereiner, Leslie, Auguſt 154, Sauſſure's Haarhygrometer 155, Deluc's Fiſchbeinhygrometer 156, Beurtheilung derſelben 156.
Hyperoxyd 36, 49.
Hypotheſe 5, 6.

J.

Jahr, tropiſches, ſideriſches 614, ano-
maliſtiſches 617, platoniſches 617.
Jahreszeiten 615, in der heißen, ge-
mäßigten, kalten Zone 696.
Inclinatorium 491.
Indifferente Stoffe 51.
Indifferenzpunkte, magnetiſche 487,
electriſche 510.
Inductionszirkel, ſ. Römerzinszahl.
Inflexioſkop 358.
Inſeln, langgeſtreckte, runde 645.
Inſtrumente, optiſche 303.
Interferenz der Wellen 197, des Schal-
les 208, des Lichtes 364, Verſuche
darüber 365, Geſetze 367, des po-
lariſirten Lichtes 368, Erklärung 405.
Intervalle 215.
Joch 667, Breite, Richtung 668, Höhe
desſelben 668.
Jod 41.
Jonen 538.
Irradiation 293.
Irrlichter 754.
Iſogoniſche 492, iſokliniſche 494, iſo-
dynamiſche 495, iſothermiſche 706
Linien.
Iſoliren, Iſolatoren, ſ. Leiter, Leit-
fähigkeit.
Iſomeriſche Stoffe 52.
Julianiſche Zeitrechnung 614.
Juno 632.
Jupiter 632.

K.

Kaleidophon 234.
Kaleidoſkop 256.
Kammer, optiſche 252, dunkle, helle
321, lichte 322.
Karten, geographiſche 607.
Kaſten, optiſcher 321.
Keil 77.
Keppler's Geſetze und Bahnen der Him-
melskörper 176, 622.
Kerngeſtalten 84.
Kernſchatten 252.
Kieſel 42.
Klang, ſ. Ton.
Klangfiguren 236, Bewegungen der-
ſelben 238, bei mittönenden Kör-
pern 242.
Klarheit 252.
Kleeſäure 48.
Klima 695, hängt von geogr. Breite
695 und von anderen Umſtänden ab
697, im Allgemeinen betrachtet 708.
Kniepreſſe 70.
Knoten, aufſteigender, abſteigender
622.
Kohle 42, Verbindungen mit Waſſer-
ſtoff 51.
Kohlenoxyd 52.
Kohlenſäure 48.
Kometen 599, Bewegung 628, Na-
tur und Zahl 629.
Körper 3, organiſche, unorganiſche 4,
haben allgemeine, weſentliche 11,
zufällige Eigenſchaften 22, ſind Ag-
gregate 21, es gibt feſte, tropfbare,
ausdehnſame Körper 25, gemengte,
gemiſchte, zuſammengeſetzte 28, ein-
fache 29, elaſtiſche 87, dehnbare und
ſpröde 89, ſelbſttönende 222, leuch-
tende, dunkle 250, durchſichtige,
undurchſichtige 250, diatherme 415.
Kraft, anziehende, abſtoßende, als
Grundkräfte 6, momentane, beſchleu-
nigende, deren Maß 15, Zuſam-
menſetzung, Zerlegung 58, Com-
ponenten, Reſultirende 58, beſtän-
dige, veränderliche 159, Fliehkraft
176, an einer Maſchine 69, Mit-
telpunkt der Kräfte 63, Moment ei-
ner Kraft 63, magnetiſche 479, elec-
triſche 505, electromotoriſche 580.
Kräftenparallelogramm 59.
Kreisbewegung 175.
Kreuzungspunkt 295.
Kryſtall 78, Erzeugung desſelben 79,
Erleichterung der Kryſtalliſation 80,
Kryſtallform 81, Kryſtallaxen 81,
einfache Kryſtallgeſtalten 81, Kry-
ſtallreihe, Kryſtallſyſtem 83, Ab-
leitung der Kryſtalle 82, Eigen-
thümlichkeiten der kryſtalliſirten
Stoffe 85, innerer Bau der Kry-
ſtalle 83, Zuſammenhang der Thei-
lungsgeſtalt mit der Natur des Stof-
fes 86, doppeltbrechende 328, ein-
axige 329, anziehende, abſtoßende
329, zweiaxige 330.
Kryſtallform, wovon ſie abhängt 86.
Kryophor 443.
Kurzſichtige 293.
Küſte 657.

L.

Ladungsſäule, ſ. Säule.
Lampenmikroſkop, ſ. Mikroſkop.

Landhöhen 668.
Landkarten 607.
Landrücken, ſ. Landhöhen.
Länge, aſtronomiſche 603, geographiſche 606.
Längenſchwingungen der Luft 223, der Saiten 232, der Stäbe 234.
Laſt, ſ. Kraft an Maſchinen.
Lebensthätigkeit, widerſteht den chem. Kräften 53, iſt Quelle der Wärme 455, der Electricität 591.
Legirungen, ſ. Metalle.
Leidnerflaſche 513.
Leiter, ſ. Leitfähigkeit.
Leitfähigkeit für Wärme 420, für Electricität 499, Beſtimmung derſelben 567, Reſultate 569.
Libelle, ſ. Waſſerwage.
Licht, allgemeine Betrachtungen 249, Hypotheſen über ſeine Natur 373, Emanationshypotheſe 374, Undulationshypotheſe 378, wirkt chem. 249, in einer geraden Linie 251, wird von den Körpern reflectirt, gebrochen 251, gebeugt 357, abſorbirt 283, ſ. Brechung, Beugung, Reflexion, Interferenz, Polariſation, erwärmende Kraft 450, für heterogene Strahlen ungleich groß 451, magnetiſche Kraft der blauen und grünen Strahlen 476, wirkt ſcheinbar dynamiſch auf magn. Schwingungen 564, electriſches 531.
Lichtmeteore 743.
Lichtſauger 250.
Lichtſtärke, ſ. Licht.
Lichtſtrahl 251, polariſirter 335.
Lichtwelle 389.
Linien, Fraunhofer'ſche im Sonnenſpectrum 268, in anderen Farbenbildern 269.
Linſen 273, Sammellinſen 273, 276, Zerſtreuungslinſen 277, achromatiſche 281, dialytiſche 282.
Liter 11.
Llanos 671.
Loupen 303, Wilſon'ſche 305.
Luft, atmoſphäriſche, Beſtandtheile 37, 693, Dichte 133, Gleichgewicht 117, Bewegung 201.
Luftballon 140.
Luftdruck, ſ. Barometer.
Luftelectricität 736.
Luftpumpe 129, ihr Gebrauch 129, Proben über die Güte derſelben durch die Barometerprobe 130, Rechnung 130, Verſuche mit derſelben 132.
Luftſpiegelung 746.
Luftſtrömungen, ſ. Winde.
Luftthermometer, ſ. Thermometer.

M.

Magazin, magnetiſches 477.
Magdeburger Halbkugeln 132.
Magnet, natürlicher, künſtlicher 469, wirkt in die Entfernung, aber nicht an allen Stellen gleich 470, Verhalten gegen einen anderen Magnet 470, Grund der magnetiſchen Phänomene 471, 557, Transverſalmagnet 476, deſſen Coercitivkraft 472, in verſchiedenen Körpern verſchieden 488, einer rotirenden Kupferſcheibe 564, Kräfte, die in letzterem Falle thätig ſind, 565, auf einen oſcillirenden Magnet wirken alle Körper ſcheinbar, auch das Sonnenlicht 564, Intenſität eines Magnetes 480.
Magnetiſiren 472, durch Stoßen, Feilen, Drehen, Glühen 473, durch Sonnenlicht 476, durch den einfachen 473, den Doppelſtrich, 474 den Kreisſtrich 476, durch E 546.
Magnetismus, magnetiſche Kraft 469, im Gleichgewichte 478, deſſen Anordnung und Stärke 479, wächſt verkehrt, wie das Quadrat der Entfernung 487, Wirkung der Wärme darauf 488, in Bewegung 544, Erklärung 566, Magnetismus der Erde 490, Richtung desſelben 490, Stärke an verſchiedenen Orten 495, iſt beim Nordlichte thätig 743, Magnetismus der Lage 471.
Magnetnadel 478, aſtatiſche 478.
Magneto-Electricität 560.
Magneto-electriſche Maſchine 561.
Magnetometer 481.
Mahlſtrom 662.
Manometer 128, Guerike's 140.
Mariotte'ſches Geſetz 122, Grenzen desſelben 123.
Mars 632.
Maſchinen 69, einfache 69, zuſammengeſetzte 77
Maſſe 14.
Maſſentheilchen 22.
Maß, öſterreichiſches, neu-franzöſiſches 11, alt-franzöſiſches 12, des Gewichtes 24.
Materie 3, magnetiſche 471, electriſche 501.

Mechanik 57.
Mechaniker, ſ. Kraft, Bewegung.
Meer, Meerboden, Meerbuſen, Meerwaſſer, ſ. Weltmeer.
Megaſkop 312.
Melodie 205.
Meridian, magnetiſcher 470, aſtronomiſcher oder terreſtriſcher 601, erſter 606.
Merkur 631.
Metameriſche Stoffe 53.
Meter 11.
Metalle 42, ſtreckbare, ſpröde, ihr Verhalten im Schmelzen 42, 43, edle und unedle, ihre Verbindungen mit Sauerſtoff unter einander 43.
Meteorognoſie, ſ. Wetterregeln.
Meteorologie 691.
Meteorſteine 755, Hypotheſen über ihr Entſtehen 755.
Mikrometer 309, Rochon's 328.
Mikroſkope 303, dioptriſche, einfache 303, Eigenſchaften 304, zuſammengeſetzte 305, Bau ihrer Objectiv- 306, ihrer Ocularlinſe 307, Verbindung zwiſchen beiden 308, catoptriſche 310, Sonnen-, Gas-, Lampenmikroſkope 311.
Milchſtraße 641.
Mineralwaſſer 649.
Miſchung 28.
Miſchungsgewicht 33.
Mittagsebene, ſ. Meridian.
Mittel 183, Widerſtand desſelben 185.
Mittönen 240.
Molekel 22.
Molekularkraft 78, Wirkung auf eine flüſſige Maſſe mit beſtimmter Oberfläche 112.
Moment einer Kraft 63.
Mond, Bewegung 624, ab-, zunehmender Neu-, Vollmond 625, Oberfläche, Berge, Thäler, Atmoſphäre, Axendrehung, Entfernung, Flächenraum 633, Länge ſeines Tages, und wie den Mondbewohnern die Erde erſcheint 634, 635.
Mondfinſterniß 626.
Mondmonat 624.
Mondzirkel 627.
Mongolfier, Erfinder des Luftballons 140.
Monochord 214.
Moraſt, ſ. Sumpf.
Morgen, ſ. Oſt.
Morgenröthe 745.
Moſkeſtrom, ſ. Mahlſtrom.
Mouſſons 716.
Multiplicator, electriſcher 551.

N.

Nachhall 212.
Nachſommer, Nachwinter 705.
Nachtbogen 601.
Nachtgleichen, ſ. Aequinoctien.
Nadir 601.
Natur, Naturkunde 3, Naturgeſchichte, Naturlehre 4, mechaniſche, chemiſche 8, reine, empiriſche 8, ihr Nutzen 8, 9.
Naturgeſetz 7.
Nebel 731.
Nebelflecken 641.
Nebenplaneten 624, 633.
Nebenſonnen, Nebenmonde 748, Erklärung 749.
Neigung, magnetiſche 471, Geſetze derſelben 491.
Neumond, ſ. Mond.
Neutraliſation 32.
Neutralſalz 50.
Neutraliſirende Platte 490.
Newman'ſches Knallgebläſe 463.
Nonius 12.
Nord 600.
Nordlicht 742, iſt wahrſcheinlich electriſcher Natur 743.
Nutation 617.

O.

Oaſen 670.
Oberfläche der Flüſſigkeiten 94, 99, Einfluß derſelben auf die einwärts ziehende Kraft 112.
Objective zu Mikroſkopen 306, zu Fernröhren 312.
Oculare zu Mikroſkopen 307, zu Fernröhren 317, pancratiſche 316.
Oefen, chemiſche 35.
Oelbildendes Gas, ſ. Kohle.
Ohr des Menſchen 244.
Ombrometer 733.
Oppoſition 619.
Optik, ſ. Licht, Inſtrumente, optiſche.
Orgelpfeifen, ſ. Pfeifen.
Ort, geocentriſcher, heliocentriſcher 620.
Oſt 598.
Oxyd, Oxydation 36.

P.

Pallas (Planet) 632.
Parallaxe 609, dient zur Beſtimmung der Entfernung und Größe der Geſtirne 610.
Parallelkreiſe, aſtronomiſche 600, terreſtriſche 605.
Paſſageinſtrument 602.
Paſſatwind, ſ. Wind.
Paſſivität des Eiſens 546.
Paß 669.
Pendel 166, Bewegung desſelben 167, Zeit einer Schwingung 167, einfaches 166, zuſammengeſetztes 169, Reverſionspendel 169, als Zeitmeſſer 169, magnetiſches 480, electriſches 505, Compenſationen 170, beweiſet die Geſetze der Schwere 170.
Perigäum 612.
Perturbationen 637.
Pfeifen, Flötenwerk 224, Höhe der Töne in denſelben 225, in Zungenpfeifen 228.
Phantasmagorie, ſ. Zauberlaterne.
Phaſe der Schwingung 384.
Phlogiſton 464.
Phosphor 41, Verbindungen mit Waſſerſtoff 52.
Phosphorescenz 250, des Meeres 658.
Phosphorſäure 48.
Photometer 288, 450.
Phyſik, Phyſiologie 4, Elementarphyſik, höhere 7, Experimentalphyſik 7, theoretiſche 8.
Planeten 599, jährliche Bewegung 619, ſtationäre, rechtläufige, rückläufige 619, bewegen ſich um die Sonne 620, nach den Kepler'ſchen Geſetzen 622, Entfernung von der Sonne, Umlaufszeit, Geſchwindigkeit 623, Urſache ihrer Bewegung 635, Maſſe, Dichte 639.
Plateau, ſ. Landhöhen.
Polardrähte 524, erlangen ſelbſt electriſche Spannung 523, ihre Wirkung auf Magnete 549, auf einander 553, auf andere Drähte 558.
Polariſation des Schalles 243, des Lichtes 335, unvollkommene 343, entgegengeſetzte 335, circulare 346, elliptiſche 347, Erklärung ſämmtlicher nach der Vibrationshypotheſe 405, 406.
Polariſationsinſtrument 336.
Polariſirtes Licht, ſ. Licht.
Polarität, ſ. Pole.
Polarkreiſe 611.
Polarſtern 601.
Pole eines Magnetes, phyſiſche 470, mathematiſche 479, magnetiſche der Erde 495, 497, electriſche an einer Säule 521, Oxygen-, Hydrogenpol 537, der Himmelskugel oder aſtronomiſche 601, der Erde 605.
Polhöhe 602, iſt der geogr. Breite gleich 605.
Polymeriſche Stoffe 52.
Poroſität 22.
Präceſſion 617.
Preſſe von Bramah 95 von Real 101.
Prisma, Nikol'ſches 339.
Probeſcheibe 505.
Probeobjecte 308.
Procentenaräometer, ſ. Aräometer.
Projectionsarten 607.
Ptolomäus Weltſyſtem 619.
Pumpe, Druckpumpe, Saugpumpe 143, Luftpumpe 129, Compreſſionspumpe 130.
Pyrometer, von Wedgewood 19, Fehler desſelben 20, Guyton, Morveau 20, von Daniell, Mill 20, Prinſep 20, zur Beſtimmung der linearen Ausdehnung durch Wärme 431.
Pyrophor 457.
Pyroſkop 419.

Q.

Quadratur 619.
Quantität der ſtrömenden Electricität 526.
Quellen 645, Urſachen ihres Entſtehens 646, Hungerquellen und andere periodiſch fließende 647, wetterlaunige 648, warme 648, Mineralquellen 649.
Queckſilberthermometer, ſ. Thermometer.
Querſchwingungen 223, der Saiten 230, der Stäbe 233.

R.

Rad, Segner'ſches 102.
Raum, leerer, torricelliſcher 118, iſt ein Leiter der ſtrahlenden Wärme 413, der Electricität 532, ſchädlicher 130.
Rauminhalt 10, Meſſen desſelben 10, 11.

Rectaſcenſion, ſ. Aufſteigung, gerade.
Reflectoren, ſ Fernröhre, catoptriſche.
Reflexion der Wellen 198, des Schalles 211, des Lichtes 253, an Spiegeln 253, theoretiſche Anſicht derſelben 399, 400, doppelte 328, totale 261, der Wärme 418.
Reflexionsgoniometer 255.
Reflexionsvermögen für die Wärme 419.
Reflexionswinkel, ſ. Reflexion.
Refractoren, ſ. Fernröhre, dioptriſche.
Regen 732, Regenmenge 733, Regenwaſſer 734.
Regenbogen 750, Entſtehung des inneren 751, des äußeren 752, umgekehrte, dritte Regenbögen 753.
Regengallen 750.
Regenmeſſer, ſ. Ombrometer.
Reibung, abſolute, relative 183, Verſuche darüber 183, Geſetze 184, Mittel gegen dieſelbe 185, Nutzen 185, iſt Quelle der Wärme 453, der Electricität 751.
Reibungsexponent 184.
Reibungsmeſſer 183.
Reibzeug 502.
Reif 728.
Reſonanz 243.
Reſonanzfiguren 242.
Reſultirende 58, Richtung und Größe bei Kräften, die auf einen Punkt in derſelben Richtung 58, unter einem Winkel wirken 59, die auf verſchiedene unveränderlich mit einander verknüpfte Punkte wirken 61.
Reverſionspendel 169.
Richtungslinie, beim Sehen 295.
Richtungsſtrahl 295.
Rochon'ſches Prisma 328.
Rolle 74.
Römerzinszahl 628.
Rohrwerkpfeifen, ſ. Pfeifen.
Roſtpendel 170.
Rückſchlag 739.

S.

Saite, ſ. Längen-, Querſchwingungen.
Salpeterſäure 46.
Salze 49, neutrale, ſaure, baſiſche; Doppel-, dreifache Salze 50.
Salzſäure 47.
Sammellinſen, ſ. Linſen.
Samum 719.
Sättigung 32.
Sättigungsvermögen, ſ. Atomengew.
Saturn 632.
Sauerſtoff, Sauerſtoffgas 35, 36.
Saugpumpe 143.
Säule, Volta'ſche 518, wovon ihre Stärke abhängt 535, 577, Erklärung 580, trockene Säule 521, zweielementige 522, ſecundäre oder Ladungsſäule 523.
Säuren 44, ihre Beſtandtheile 44, Benennung 45, Charakteriſtik einiger Säuren 46.
Schall 204, Schallmittel 205, Art der Fortpflanzung 206, Charakter 205, Richtung 208, Geſchwindigkeit in der Luft 209, in anderen Körpern 210, nach theoret. Rechnungen 210, Stärke desſelben 217, Höhe und Tiefe 213, ſ. Schallwelle, Ton.
Schallſtrahl 208.
Schallwelle 207, Theile, Länge derſelben 207, Durchkreuzung 208, Reflexion 211.
Schaltjahr 614.
Schatten 252, gefärbte 300.
Schichtwolken, ſ. Wolken.
Schiefe der Ecliptik 611, Einfluß auf das Klima und die Länge des Tages 615, iſt veränderlich 617.
Schiefe Ebene, ſ. Fall.
Schmelzen 436, durch E 534.
Schnee 735.
Schneegrenze 701.
Schnellwage, ſ. Wage.
Schraube 75.
Schweben der Töne 220.
Schwefel 41.
Schwefelſäure, ſchwefelige Säure 47, Schwefelwaſſerſtoffſäure 48.
Schwere 22, Theorie derſelben 65, relative 164, der Luft 118, wird durch Pendelſchwingungen dargethan 170.
Schwerkraft 22, 65.
Schwerpunkt 66, Beſtimmung desſelben 67.
Schwimmen, natürliches 103, künſtliches des Menſchen 105.
Schwingungen des Waſſers, fortſchreitende 194, ſtehende 200, in ſelbſttönenden Körpern 222, der Luft 225, im Stimmorgane 229, der Saiten 230, der Membranen 232, der Stäbe 233, der Platten 236, in mittönenden Körpern 240, der Pendel, ſ. Pendel.
Schwingungen der Aethertheilchen bei der Lichtfortpflanzung 381, 382, ge-

radlinige 383, Geſetz derſelben 384, Zuſammenſetzung 386.
Schwingungsknoten 200.
Schwingungspunkte 169.
Schwingungsweite 384.
Schwungkraft 176.
Schwungmaſchine 177.
See, ſein Entſtehen 654, Vertheilung derſelben auf der Erde 655, Größe und Geſtalt 655, Tiefe 656.
Seegeſicht, ſ. Luftſpiegelung.
Seekarten, ſ. Karten.
Sehen, was zum deutlichen Sehen gehört 291, ſ. Auge.
Sehweite 293.
Seilmaſchine 70, Vera'ſche 98.
Selen 41.
Sicherheitslampe 460.
Sicherheitspanzer 460.
Sicherheitsrohr 142.
Sieden 438, wovon die Siedhitze abhängt 438.
Sirocco 719.
Solſtitien 611.
Sonne, ſcheinbare Bewegung 610, hat Flecken 630, Maſſe, Dichte, Fallraum 639.
Sonnenfackel 630.
Sonnenfinſterniß 627.
Sonnenmikroſkop 311.
Sonnentag, mittlerer, wahrer 614.
Sonnenzirkel 615.
Sonntagsbuchſtabe 615.
Spannkraft, ſ. Ausdehnſamkeit.
Spannung, electriſche, wird durch Größe der anziehenden oder abſtoßenden Kraft gemeſſen 504, iſt dieſen Kräften proportionirt 506, Abnahme durch unvollkommene Iſolirung 507, ſ. Electricität im Gleichgewichte.
Spannungsreihe 577.
Spectrum, ſ. Farbenbild.
Spiegel 253, ebene 254, ſphäriſche hohle 257, erhabene 259, cylindriſche, coniſche 259, parallele, Winkelſpiegel 256, Lieberkühn'ſcher 305.
Spiegelſextant 256.
Sprachrohr 221.
Springbrunnen, ſ. Heronsbrunn, Communicationsgefäße.
Sprödigkeit 89.
Stabilität, ſiehe Gleichgewicht, ſtabiles.
Statik, ſ. Gleichgewicht.
Stechheber 141.
Steinkohlen 676, ſind organiſchen Urſprungs 677.
Steppen 671.
Sternbild 639.
Stereoſkop 297.
Sterne, Fixſterne 599, 639, ihre Anzahl 640, Entfernung 640, Größe 640, Circumpolarſterne 600, Nebelſterne 641, Doppelſterne 641, veränderliche Sterne 642.
Sternſchnuppen 754.
Sterntag 614.
Stickſtoff oder Stickgas 37.
Stimmorgan 229.
Stoffe, indifferente 51, iſomeriſche 52, polymeriſche 52, metameriſche 53.
Stoß, gerader, centraler, unelaſtiſcher Körper 178, elaſtiſcher Körper 179, ſchiefer 181, excentriſcher 182, des Waſſers 193, der Luft 204, iſt Quelle der Wärme 452, electriſcher 528, ſ. Erſchütterung, electriſche.
Stoßheber 192.
Stoßmaſchine 181.
Strahl, gewöhnlicher, ungewöhnlicher 324.
Strahlenbrechung, aſtronomiſche, terreſtriſche 746.
Strand, ſ. Küſte.
Strom, ſ. Fluß, electriſcher 524, ſecundärer 558.
Stromſtrich 653.
Structur der Kryſtalle 83.
Subjectiver Ton, ſ. Ton.
Süd 600, Südpunkt 601.
Südlicht 742.
Sumpf 656.
Symbole, chemiſche 34.
Syrene 213.

T.

Tafeln der Miſchungsgewichte 29, 30, der Compreſſibilität der Flüſſigkeiten 96, der Dichte 109, der Spannkraft der Dünſte 149, der Tonwerthe 216, der Brechvermögen 272, Verhältniſſe der Objective zu den Vergrößerungen bei Frannhofer's und Plößl's Fernröhren 318, der Länge der Lichtwellen 395, der Capacitäten 430, der Ausdehnung durch Wärme 432, 434, Aenderung der Waſſerdichte durch Wärme 434, der Sied- und Schmelzpunkte einiger Körper 440, erkältender Miſchun-

gen 455, magnetiſcher Neigungen 495, der Verzögerungskraft für electriſche Ströme und Erwärmung 535, der Jonen und electriſchen Aequivalente 544, des electriſchen Leitvermögens 570, der Electromotoren 577, der Thermoelectromotoren 590, der Tageslänge an verſchiedenen Orten 616, der Elemente des Sonnenſyſtems 623, der Trabanten 626, der Maſſe, Dichte und des Fallraums auf Planeten 639, der Stromgebiete 654, hypſometriſche 667, der Schneegrenze 702, der Vegetationsgrenzen 708, der Wärmevertheilung und mittleren Lufttemperatur 709, der Bodenwärme 712, der mittleren Windesrichtungen 718, der Barometerveränderungen 721, der Barometerſtände bei verſchiedenen Winden 724, der Verdünſtungsgröße 726, der Regenmenge 734, 735.

Tafel, Franklin'ſche 513.

Tagbogen 601.

Tangentialkraft 173.

Taucherglocke 13.

Täuſchungen, optiſche 301.

Teleſkope, ſ. Fernröhre..

Temperatur der Erdoberfläche 691, mittlere eines Tages 702, eines Jahres 703, Temperatur der Erdrinde 711, des Inneren der Erde 712, der obern Luftſchichten 701.

Temperiren der Tonleiter 217.

Thau 728, Urſache ſeines Entſtehens 728.

Thaumatrop 301.

Theilbarkeit 21.

Theilung, mechaniſche, chemiſche 21.

Theodolith 603.

Thermoelectricität 588.

Thermometer, Queckſilberthermometer 16, Vorſichten beim Baue desſelben 17, allmälige Verſchlechterung 18, Weingeiſt 18, Maximum- und Minimum-Thermometer 19, Luft- 126, deſſen Vorzüge 128, Uebereinſtimmung mit dem Queckſilberthermometer 128, Differenzial- 412, Metalltherm. von Brequet und Holzmann 433.

Theuerbrunnen, ſ. Hungerquellen.

Töne 205, 213, Folge 214, Bezeichnung derſelben 215, Schwingungszahlen 216, große, kleine, halbe 215, ſubjective 220.

Tonleiter 214, chromatiſche 217.

Tonverhältniß 215.

Torf 677.

Toricelliſche Leere, Röhre 118.

Trabanten, ſ. Nebenplaneten.

Trägheit 13.

Transverſalmagnet 476.

Transverſalſchwingung, ſ. Querſchwingungen.

Trennung der Theile iſt Quelle der E 574.

Trevelyan'ſches Inſtrument 224.

Tribometer, ſ. Reibungsmeſſer.

Trogapparat, ſ. Säule.

Tropfbare Körper, ſ. Körper.

Tropfenbildung 110.

Tycho de Brahe's Weltſyſtem 622.

U.

Uebergangsgebirge 675.

Ueberſchwemmungen, allgemeine 681.

Ueberwucht 186.

Undulationshypotheſe, Undulationstheorie, Darſtellung derſelben 378, Widerlegung einiger Einwürfe 379, Geſetze der Fortpflanzung der vibrirenden Bewegung nach den Geſetzen der Mechanik 380, Deutung der Qualitäten eines Lichtſtrahles 387, Erklärung der Interferenz 388, der Beugung durch eine Spalte 392, durch zwei Spalten 393, durch mehrere 394, durch viele Spalten 395, am Rande eines Körpers 396, der geradlinigen Fortpflanzung 398, der Reflexion 399, 400, der einfachen Brechung 401, der Farbenzerſtreuung 404, der doppelten Brechung 404, der Polariſation 405, der Umſtaltung geradlinig polariſirten Lichtes in circulares oder elliptiſches 406, der Drehung der Polariſationsebene 407, der Farben kryſtalliſirter Platten 408, dünner Plättchen 410.

Undurchdringlichkeit 13.

Unterſtützungspunkt 69.

Uranus 632.

Urgebirge 674.

V.

Vegetation, Quelle der Wärme 455, der Electricität 591, ſteht mit Klima in engem Verbande 707.

Venus 631.

Verbindung, chemiſche 28, nach be-

ſtimmten Verhältniſſen 32, bringt E hervor 575.
Verbrennen 456, hiezu ſind ſtets zwei Körper, ein beſtimmter Wärmegrad 456, oder Berührung mit gewiſſen poröſen Stoffen erforderlich 458.
Verdünſtung 147, 441, 726, Grenzen derſelben 441, dabei entſteht ſtets Erkältung 442, jährliche für beſtimmte Breiten 726.
Vergrößerung der Mikroſkope 304, 309, der Fernröhre 313, 315, 318.
Verhältniß, ſtatiſches 69.
Vernier, ſ. Nonius.
Verwandtſchaft, chemiſche 28, einfache 28, Hinderniſſe derſelben 53, einfache und doppelte Wahlverwandtſchaft 28, Geſetze 30, Verwandtſchaftsgrade 31.
Veſta 632.
Vibrationshypotheſe, ſ. Undulationshypotheſe.
Vollmond, ſ. Mond.
Voltameter 543.
Volum, ſ. Rauminhalt.
Vorgebirge 669.
Vorrücken der Nachtgleichen, ſ. Präceſſion.
Vulcane 675, Erſcheinungen bei Ausbrüchen 682, ihre Ruhezeit 684, Herd 684, wahrſcheinliche Urſachen 685.

W.

Wage 71, Theorie derſelben 72, Schnellwage 72, hydroſtat. 107.
Wahlverwandtſchaft, ſ. Verwandtſchaft.
Wahrſcheinlichkeitsrechnung 5.
Wanne, pneumatiſche 35.
Wärme, ſtrahlende 412, pflanzt ſich geradlinig mit ungeheurer Geſchwindigkeit fort 413, wird gebrochen 415, reflectirt 416, polariſirt 418, die innere Fortpflanzung wird durch Aggregationszuſtand modificirt 420, Geſetze, nach denen ſie ſich richtet 423, ihre Wirkungen 430, 436, ihre Quellen 449, Verbindung mit Licht 455, ſpecifiſche 424, wird durch die Miſchungs- 425, Abkühlungsmethode 426 und durch Calorimeter 426 beſtimmt, dehnt die Körper aus 430, ändert den Aggregationszuſtand 436, wird beim Schmelzen 437 und Verdünſten gebunden 440, wird erregt durch Sonnenlicht 450, durch Stoß und Reibung 452, durch chemiſche Einwirkung 454, durch den Lebensprozeß 455, ſchwächt die magnetiſche Kraft 481, theoretiſche Erklärung durch Annahme eines Wärmeſtoffes 465, andere Vermuthung 467.
Wärmeſtoff 465, man erklärt aus ihm die Wärmephänomene 466, Einwürfe dagegen 466.
Waſſer, reines 51, ſpec. Gewicht 106, Ausdehnung durch die Wärme 434, hartes, weiches iſt mit andern Stoffen gemengt 51, hat Einfluß auf das Klima 697, Wirkungen desſelben auf der Erde 681, ſchwebt fein zertheilt in der Luft 729.
Waſſerhoſen 741.
Waſſermenge, ſ. Flüſſe.
Waſſermeteore 726, ſtehen mit Winden im Zuſammenhange 757.
Waſſerſäulenmaſchine 101.
Waſſerſtoff 36, deſſen Verbindungen mit dem Kohlenſtoffe 51, mit Phosphor 52.
Waſſerwage 104.
Waſſerziehen 745.
Wechſelwind, ſ. Wind.
Weichheit 89.
Wein, Weingeiſt, ſ. Alkohol.
Weingährung, ſ. Alkohol.
Weingeiſtthermometer, ſ. Thermometer.
Weiße eines Körpers 287.
Weitſichtige 293.
Welle des Waſſers 193, Entſtehen 194, Fortſchreiten 195, Geſchwindigkeit 195, Bewegung der kleinſten Theile bei dem Fortſchreiten einer Welle 196, bei der Entſtehung derſelben 197, Durchkreuzung 197, Reflexion 198, Beugung der Wellen 199, ſtehende Wellen 200, auf dem Meere 663.
Wellen des Aethers bei der Lichtfortpflanzung 380, 389.
Wellenlänge 389, wird durch Beugungserſcheinungen beſtimmt 395.
Wellenberg 193.
Wellenrinne 196.
Wellenſchlag, ſ. Welle.
Wellenthal 193.
Wellrad 74.
Weltaxe 600.

Weltmeer 656, Küſten 657, Beſchaffenheit ſeines Bodens 657, Tiefe 658, Farbe 658, Leuchten desſelben 658, Grund ſeiner Salzigkeit 659, eigenthümliche Bewegungen 660.
Wendekreiſe 611.
Weſt 598.
Wetterregeln 757, aus dem Winde 757, dem Barometerſtande 758, der Durchſichtigkeit und Farbe der Luft 758, dem Ausſehen der Sterne 759, den Wolken 759, der Luftfeuchtigkeit 760, der Luftelectricität 760, aus vorhergehender Witterung 760, dem Mondesſtande 761, dem Benehmen der Thiere 762.
Widerſtand des Mittels 185.
Widerhall 212.
Wind 713, Richtung, Stärke 714, Theorie desſelben 714, Paſſat- 715, Wechſel- 716, Land- und Seewind 717, unregelmäßige 718, ihre mittlere Richtung 718, beſondere Eigenſchaften 719, ihre Beziehung zum Wetter 757.
Windbüchſe 143.
Windroſe, thermiſche 718.
Winkelſpiegel 256.
Wirbel 199, 662.
Witterung 691.
Wolken 729, Farbe, Größe, Bewegung 729, Geſtalt 730, Beziehung auf das Wetter 759.
Wolkenbruch 732.
Woulf'ſche Flaſche, Apparat 35.
Wurf, auf- oder abwärts 171, horizontal 172, unter einem Winkel 172, in einem widerſtehenden Mittel 187.
Wurfweite 173.
Wüſten 669, Urſachen des Mangels aller Vegetation 670.

Z.

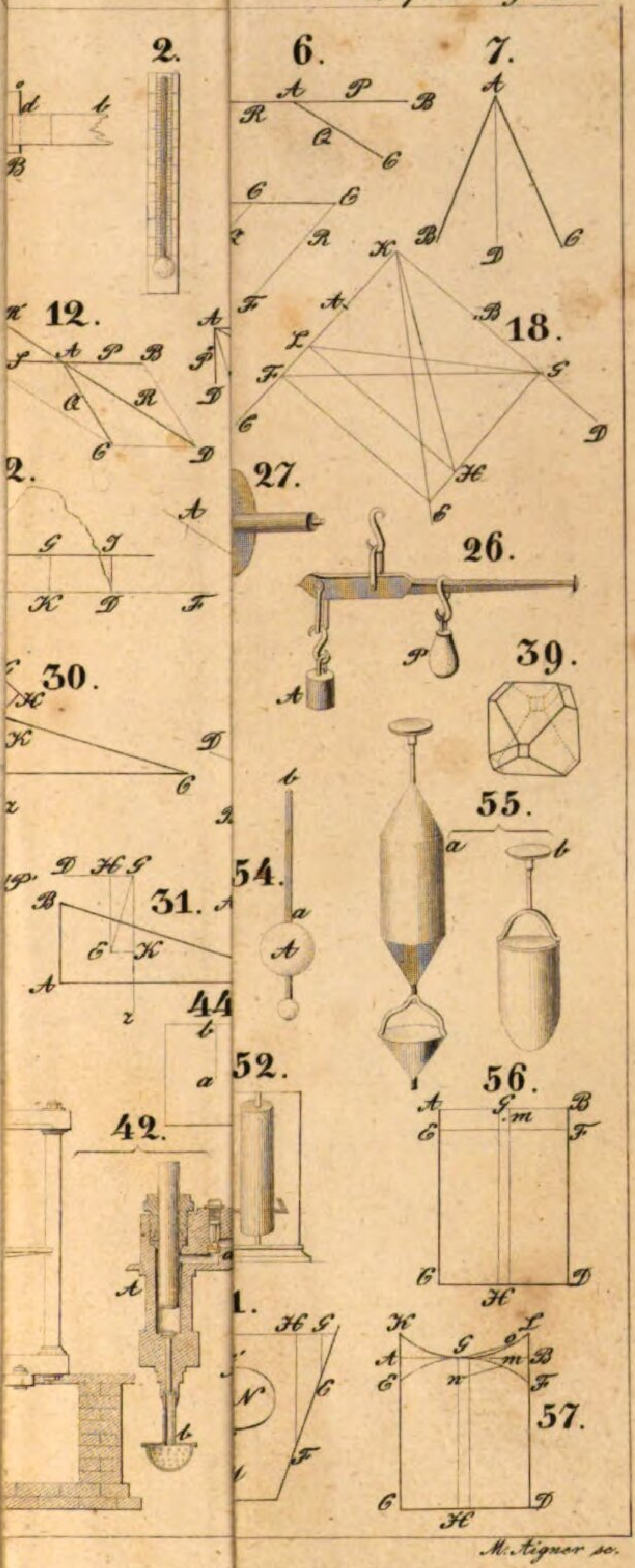
Zahl, ſtöchiometriſche 33, goldene 627.
Zauberlaterne 322.
Zeichenſprache, chemiſche 34.
Zeit 159, Meſſen derſelben durch Pendel 169, wahre, mittlere Sonnen-Sternzeit 614.
Zeitgleichung 614.
Zeitrechnung, julianiſche, gregorianiſche 615.
Zenith 601.
Zerlegung, Zuſammenſetzung der Kräfte, der Bewegungen, ſ. Kraft, Bewegung.
Zerreißen 90, Zerdrücken 91, Zerbrechen 92.
Zerſetzung, chem., ſ. Scheidung.
Zerſtreuung des reflectirten, des gebrochenen Lichtes 283, Stärke derſelben 284.
Zerſtreuungslinſen, ſ. Linſen.
Zerſtreuungsverhältniß 271.
Zerſtreuungsvermögen 271.
Zodiakallicht 753.
Zone, heiße, gemäßigte, kalte 695.
Zucker, Rohrzucker, Traubenzucker 54.
Zündkörper, ſ. Verbrennen.
Zungenpfeifen, ſ. Pfeifen.
Zuſammendrückbarkeit der Körper überhaupt 15, der Flüſſigkeiten 95, Folgerungen daraus 112, der Gaſe 117.
Zuſammenziehung des Flüſſigkeitsſtrahles 190, eines Gaſes 202.

Verbeſſerungen.

Seite 15, Z. 12, ſtatt »dieſer« leſe man »dieſe.«
» 70, » 5, von unten, ſtatt »Fig. 26« l. m. »Fig. 24.«
» 116, » 5, ſtatt »Fig. 54« l. m. »Fig. 58.«
» 120, » 11, von unten, nach »entſpricht.« ſetze man hinzu: »Eine ſehr einfache von Gay-Luſſac angegebene Form des Heberbarometers zeigt Fig. 63.«
» 148, » 15, ſtatt »Differenz zwiſchen« l. m. »Summe.«
» 156, » 11, ſtatt »Fig. 92« l. m. »Fig. 90.«
» 172, » 20, v. u. nach »A x« ſetze man »Fig. 103.«
» 173, » 8, ſtatt »$\frac{h}{g}$« l. m. »$\frac{v}{g}$.«
» — » 10, ſtatt »ACB« l. m. »ADB.«
» 351, » 17, ſtatt »Fig. 256« l. m. »Fig. 256 a.«
» 353, » 14, ſtatt »Fig. 257« l. m. »Fig. 256 b.«
» 354, » 27, ſtatt »der Axe parallel« l. m. »unter 45° gegen die Axe.«
» — » — ſtatt »mit gekreuzten Axen« l. m. »mit gekreuzten Hauptſchnitten.«
» 416, » 11, v. u. ſtatt »ſolcher« l. m. »gleicher.«
» 480, » 17, ſtatt »be *sin* bed« l. m. »bc *sin* bcd.«
» 557, » 14, ſtatt »M« l. m. »M'.«
» — » 24, ſtatt »M« l. m. »M'.«

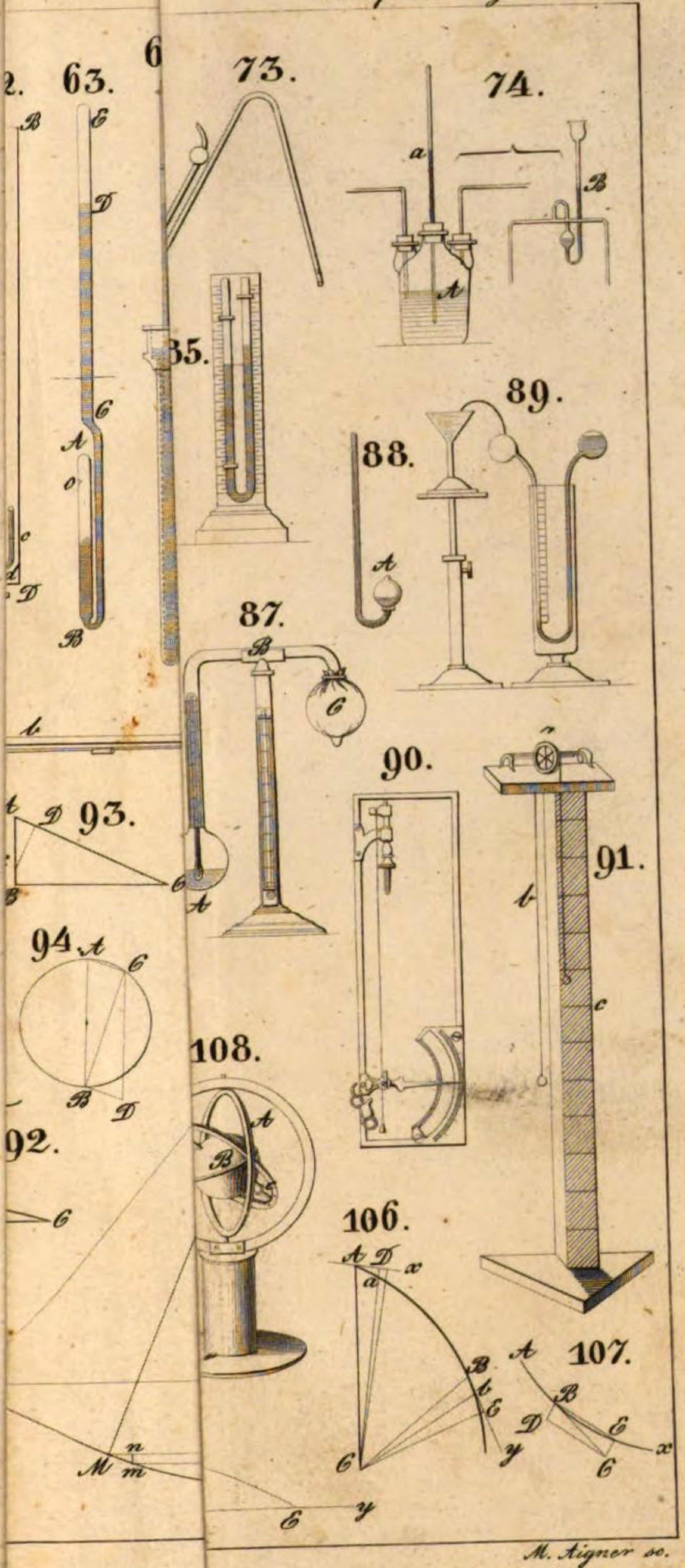
Bayerische
Staatsbibliothek
München

Taf. I. Fig. 1_57.



M. Aigner sc.

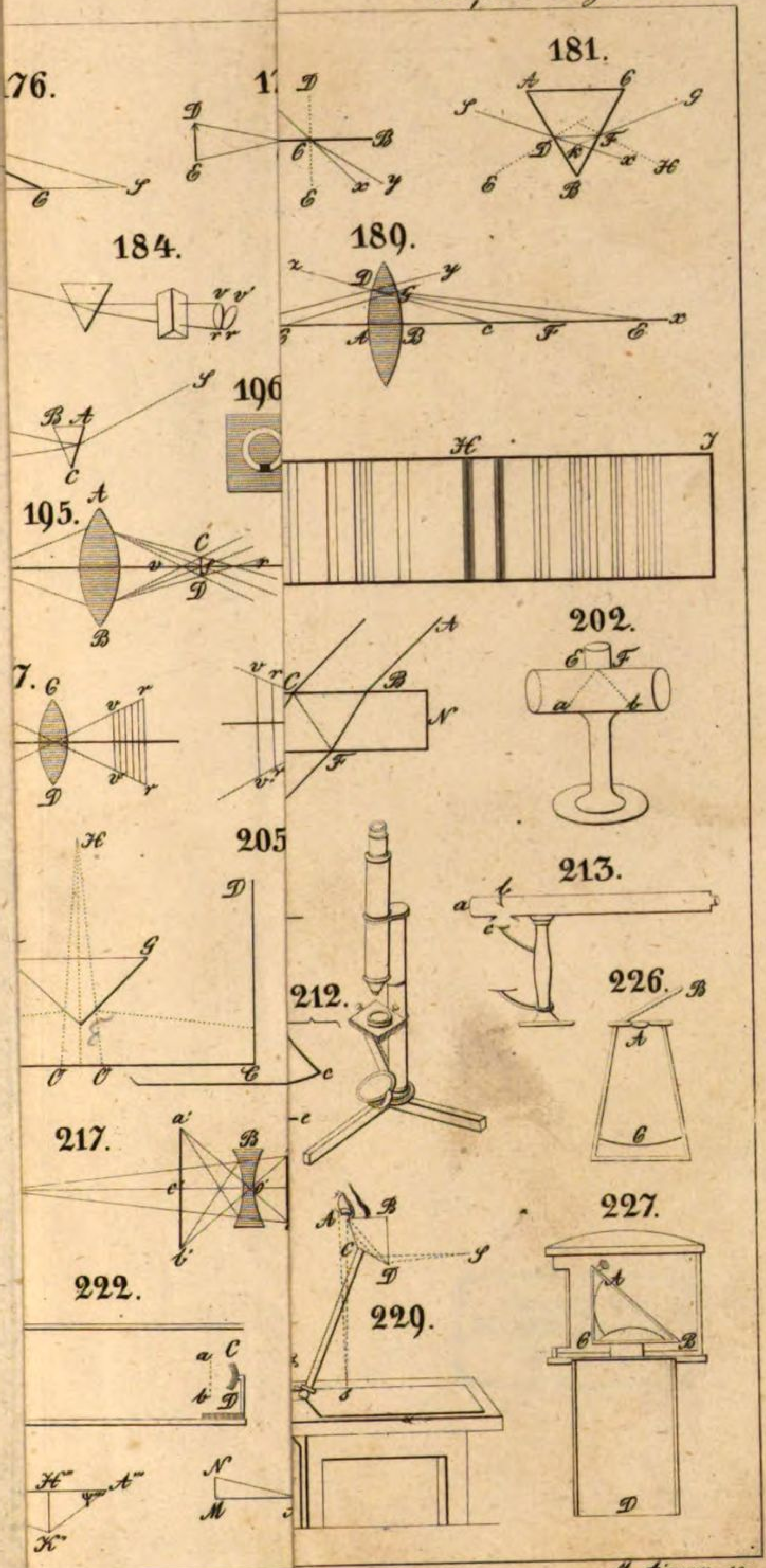
Taf. II. Fig. 58_108.



M. Aigner sc.

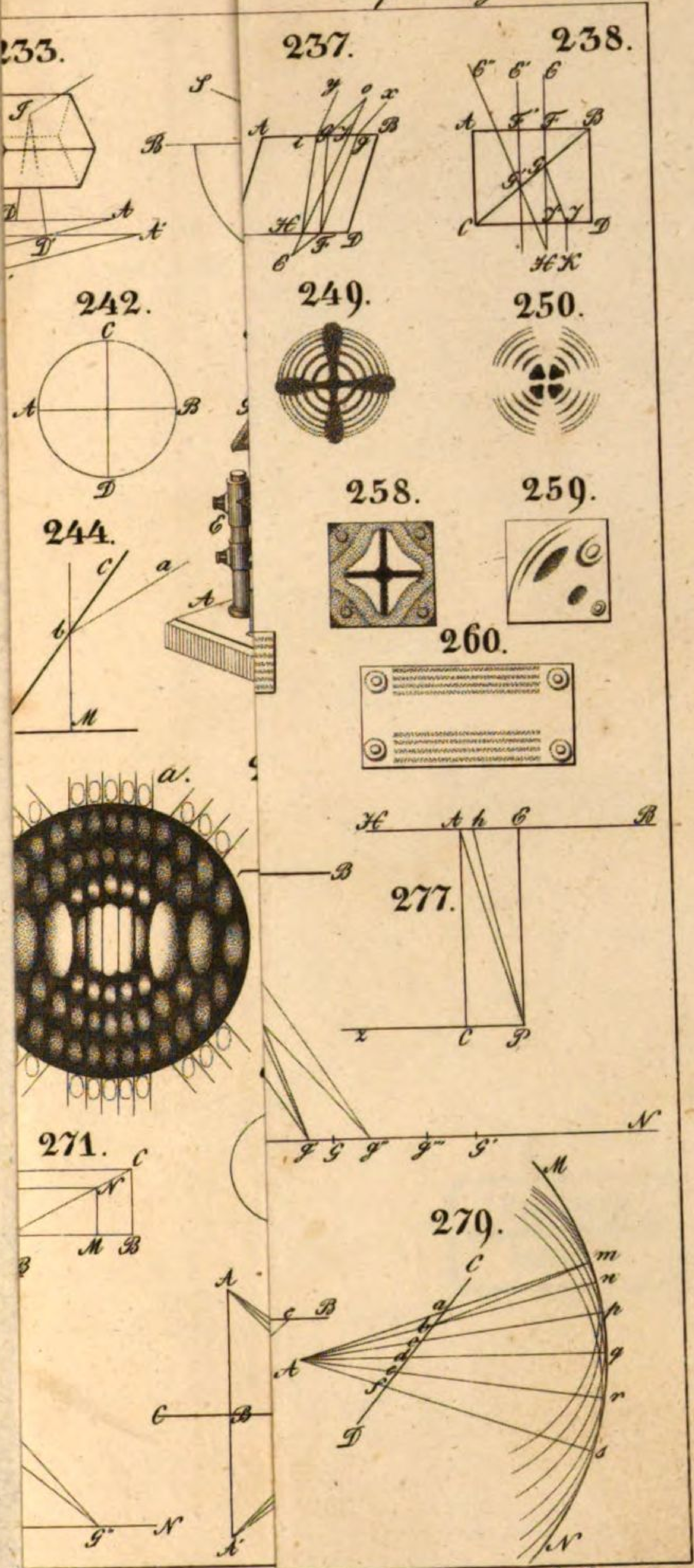
Bayerische
Staatsbibliothek
München

Taf. IV. Fig. 174–230.



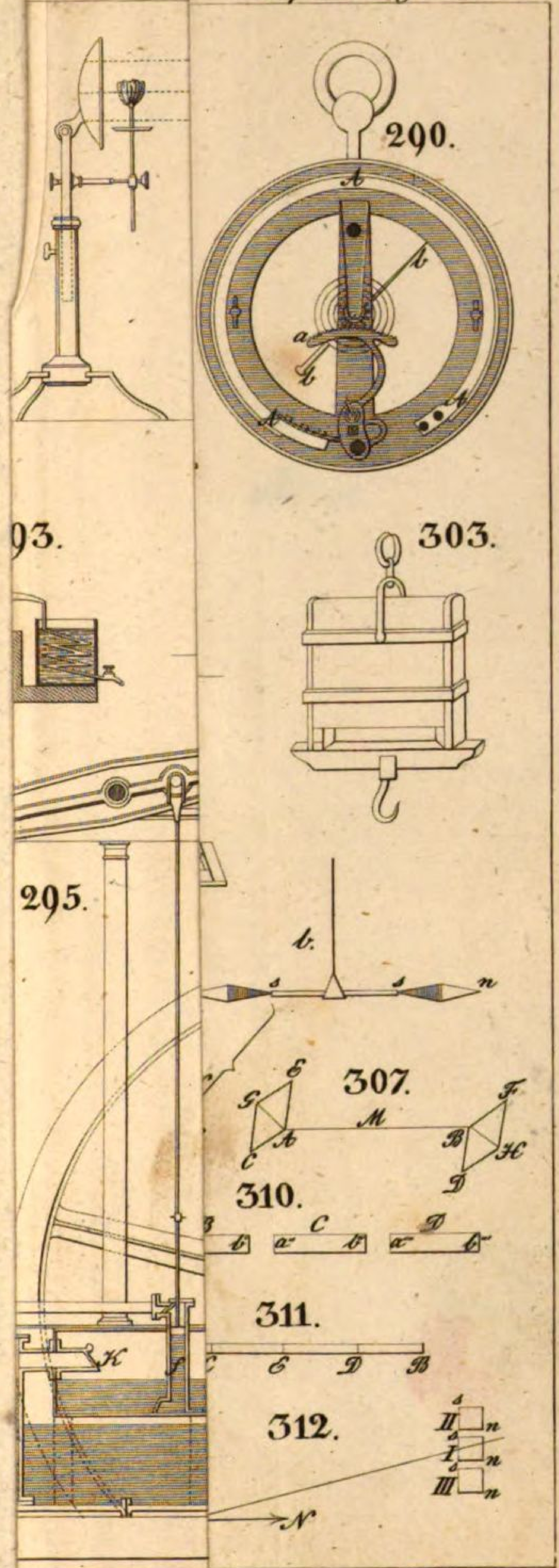
M. Aigner sc.

Taf. V. Fig. 231_281.



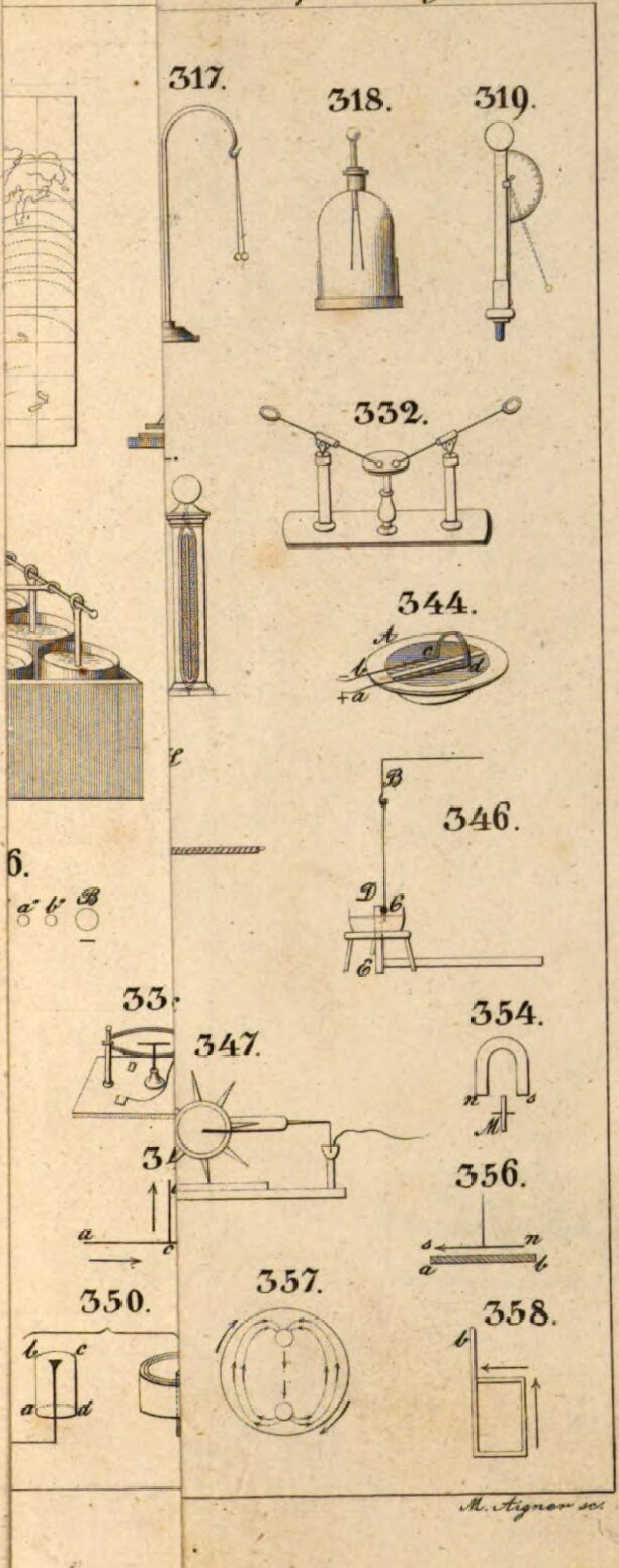
M. Aigner sc.

Taf. VI. Fig. 282–312.



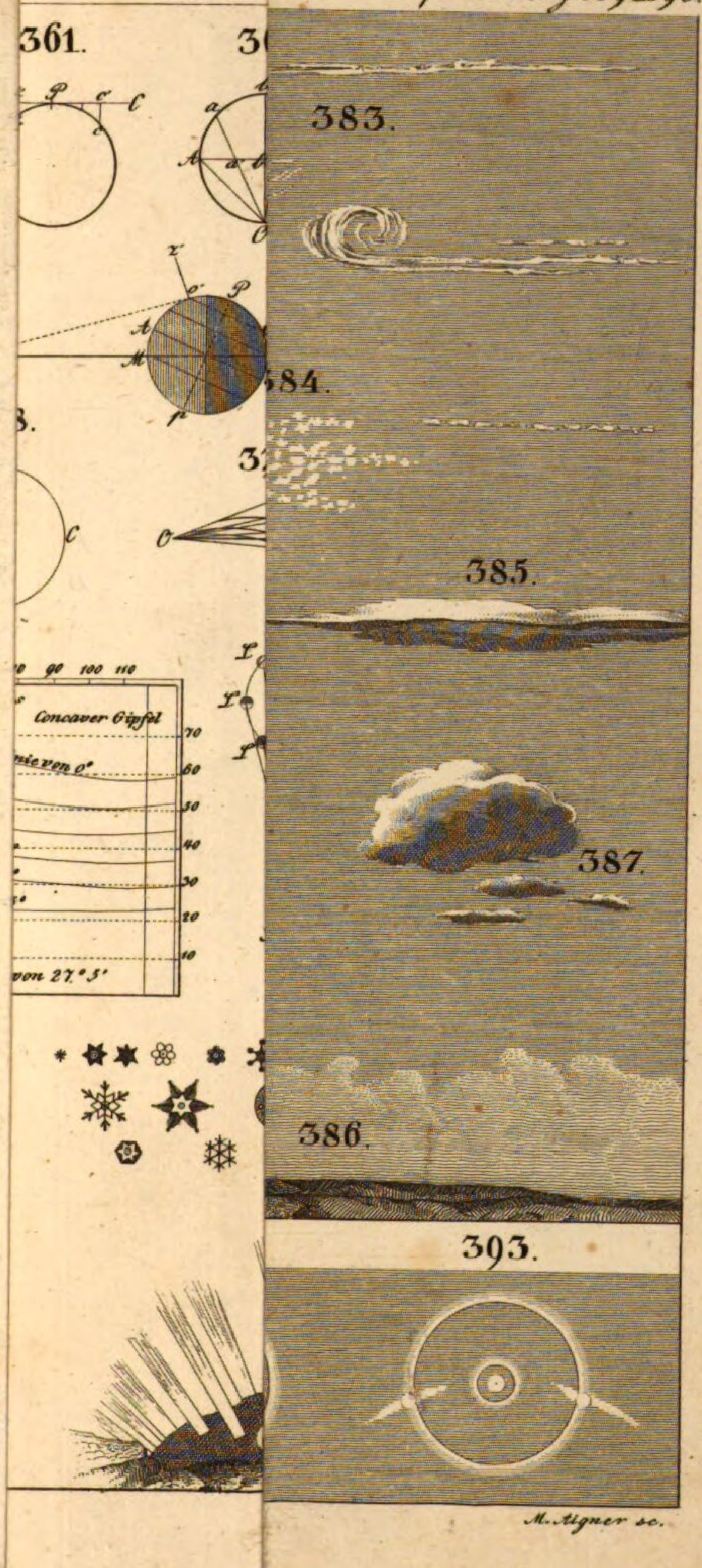
M. Aigner sc.

Taf. VII. Fig. 313 – 358.



M. Aigner sc.

Taf. VIII. Fig. 359_393.



M. Aigner sc.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Baumgartner, Andreas <<von>>,

Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathematische Begründung

Wien 1839

Phys.g. 30 dc
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10130656-8